

## 明 細 書

光－無線融合通信システムおよび光－無線融合通信方法  
技術分野

[0001] 本発明は、無線基地局で受信した高周波無線信号を光信号に変換して収容局に伝送する光－無線融合通信システムおよび光－無線融合通信方法に関する。特に、本発明の光－無線融合通信システムは、収容局の光送信器から無線基地局に光伝送路を介して光搬送波信号を送信し、無線基地局で受信した無線信号で光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を無線基地局から収容局の光受信器に光伝送路を介して送信し、光受信器で受信する構成である。

## 背景技術

[0002] 図27は、従来の光－無線融合通信システムの構成例を示す。図28は、光受信器の構成例を示す。図29は、従来の光－無線融合通信システムにおける各信号の周波数スペクトルの一例を示す。

[0003] 収容局100は、光送信器10および複数の光受信器20を備える。光送信器10は、単一スペクトル光源11から出力された単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_c$ )0aを光分岐器12で複数の分岐する。分岐された各光信号0aは、光搬送波信号としてそれぞれ光伝送路201を介して複数の無線基地局300に伝送され、光変調器301に入力する。なお、ここでは、1つの無線基地局300のみを示す。

[0004] 一方、無線端末400は、発振器401から変調器402に入力される電気搬送波信号(周波数 $f_{RF1}$ )0cを送信データ0bで強度変調し、無線信号0dとしてアンテナ403から無線基地局300へ送信する。無線基地局300は、送信データ0bで変調された無線信号0dをアンテナ302で受信し、光変調器301に入力する。光変調器301は、受信した無線信号で光送信器10から供給された光搬送波信号0aを光強度変調し、その光変調信号0eを光増幅器303で光増幅し、光伝送路202を介して収容局100の光受信器20へ送信する。なお、複数の光受信器20は、それぞれ対応する無線基地局300に接続される。

[0005] 光受信器20では、無線基地局300から送信された光変調信号0eを光増幅器21で

光増幅し、発振器22から光変調器23に入力される周波数 $f_{RF2}/2$ の電気搬送波信号Ofを用いて光変調信号Oeを搬送波抑圧両側波帯光変調する。光変調器23の出力光信号Ogは、光フィルタ24で所定の2波の光信号Ohのみが抽出され、受光器25で自乗検波される。

- [0006] ここで、発振器22から出力される電気搬送波信号Ofの周波数 $f_{RF2}/2$ は、無線信号Odの周波数 $f_{RF1}$ より任意の中間周波数 $f_{IF}$ だけ小さい周波数の半値とすることにより、受光器25の出力として、任意の中間周波数 $f_{IF}$ の電気信号Oiが得られ、電気検波器26で検波される。これにより、無線信号の周波数帯域の受信器を用いることなく、無線端末400から送信された送信データObに対応する受信データOjが得られる(非特許文献1参照)。

非特許文献1:久利敏明、北山研一、「New Photonic Downconversion Technique with Optical Frequency Shifter for 60-GHz-Band Fiber-Radio Uplink Systems」、2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集、社団法人電子情報通信学会、2002年3月7日、C-14-13

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 従来の光-無線融合通信システムでは、各無線基地局に対応した全ての光受信器において、無線基地局から送信された光信号を搬送波抑圧両側波帯光変調する。そのため、無線信号の周波数帯域を有する光変調器を用意する必要があり、構成が複雑になる。特に、端末装置と無線基地局との間で広帯域信号を伝送する場合には、無線信号の周波数として広い信号帯域が確保できるミリ波帯を用いることが予想されるが、これに対応する高周波帯の光変調器は高価であり、システム全体の構成が複雑かつ高価になる。
- [0008] また、全ての光受信器では、光ファイバ伝送による損失が大きいとき、無線基地局内の光変調器の挿入損失が大きいとき、さらに光変調器の変調度が小さいときに、光信号への変換損失を補償するための光増幅器が必要になり、システム全体の構成が複雑かつ高価になる。
- [0009] 本発明は、光増幅器や高周波帯の光・電気回路などの複雑かつ高価な部品を用

いることなく、簡単かつ安価なシステム構成により、無線基地局から送信された光信号を高感度受信することができる光－無線融合通信システムおよび光－無線融合通信方法を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

#### [0010] (第1の発明)

第1の発明は、収容局に光送信器および光受信器を備え、光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して収容局に送信し、光受信器は光変調信号を受信し、検波して送信データを再生する光－無線融合通信システムにおいて、光送信器および光受信器はそれぞれ次のような構成である。

[0011] 光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C1}$ )を出力する第1の単一スペクトル光源と、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C2}$ )を出力する第2の単一スペクトル光源と、第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C3}$ )を出力する第3の単一スペクトル光源と、第2の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度と、第3の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度について、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように調整し、2波を直交偏波合成して偏波合成光信号として出力する偏波合成手段とを備える。第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{C1}$ 、 $f_{C2}$ 、 $f_{C3}$ は、無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ に対して、

$$\begin{aligned} |f_{C1} - f_{C2}| &= f_{RF} \pm f_{IF1} \\ |f_{C1} - f_{C3}| &= f_{RF} \pm f_{IF2} \end{aligned}$$

となるように制御される。光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号を光搬送波信号として無線基地局へ送信し、偏波合成光信号を光受信器へ出力する構成である。

[0012] 光受信器は、無線基地局から送信された光変調信号と、光送信器から出力された偏波合成光信号とを合波する光合波器と、光合波器で合波された光信号を受光し、中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を出力する受光器と、受光器から出力された中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を検波する電気検波器と、電気検波器の出力信号を低域

濾過し、送信データを出力する低域濾過フィルタとを備える。

- [0013] 第1の発明によれば、光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号を光搬送波信号として無線基地局へ送信し、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波を直交偏波合成した偏波合成光信号を光受信器へ出力する。このとき光送信器では、無変調かつ減衰の無い光信号を基に周波数安定化制御を行うため、従来の高感度光受信のように光受信器において伝送損失により減衰した光変調信号を基に周波数安定化制御を行う場合と比較して、容易に周波数安定化制御が可能となる。

- [0014] 無線基地局へ送信する光信号の電界 $E_{opt-c}$ と、光受信器へ出力する偏波合成光信号の電界 $E_{opt-LO}$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{opt-c} = A \cos(2\pi f_{C1} t + \phi_1(t)) \quad \dots(1)$$

$$E_{opt-LO} = A_{LO} \cos(2\pi f_{C2} t + \phi_2(t)) + A_{LO} \cos(2\pi f_{C3} t + \phi_3(t)) \quad \dots(2)$$

ここで、 $A$ 、 $A_{LO}$ は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$ は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分とする。また、(2)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅である。

- [0015] 無線基地局では、光送信器から送信された光信号((1)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器へ送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{opt-mod}$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{opt-mod} \propto (1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \cdot A \cos(2\pi f_{C1} (t+T) + \phi_1(t+T)) \quad \dots(3)$$

ここで、 $m$ は光変調度、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分、 $T$ は光信号が収容局—無線基地局間の光伝送に要する時間を表す。

- [0016] 光受信器では、光送信器から出力された偏波合成光信号((2)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((3)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{opt-co}$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{opt-co} = A_{LO} \cos(2\pi f_{C2} t + \phi_2(t)) + A_{LO} \cos(2\pi f_{C3} t + \phi_3(t)) + (1/\gamma)(1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t)$$

$$\cdot A \cos(2\pi f_{c1}(t+2T) + \phi_1(t+2T)) \quad \dots(4)$$

ここで、 $\gamma$ は無線基地局－光受信器リンクの光伝送損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma \gg 1$ である。

[0017] (4)式の右辺の第1項および第2項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたために損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(4)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号((3)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0018] 受光器から出力される2波の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の電界 $E_{IF}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{IF} \doteq G a_i [ & A \cdot A_{LO} \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\ & + A \cdot A_{LO} \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2) ] \\ & (\phi_1 = \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_2(t)]) \\ & (\phi_2 = \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_3(t)]) \end{aligned} \quad \dots(5)$$

ここで、 $G$ は前記ヘテロダイン検波の利得に依存する係数、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の位相成分、 $\theta$ は無線基地局から送信された光変調信号((3)式)の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(2)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。

[0019] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数が設定した値となるよう制御しているため、光受信器では、複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数の信号を得ることができる。

[0020] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB} & \propto G^2 a_i^2 (A^2 \cdot A_{LO}^2 \cos^2 \theta + A^2 \cdot A_{LO}^2 \sin^2 \theta) \\ & = G^2 a_i^2 \cdot A^2 \cdot A_{LO}^2 \end{aligned} \quad \dots(6)$$

[0021] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号((2)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局

から送信された光変調信号((3)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。

[0022] (第2の発明)

第2の発明は、収容局に光送信器および光受信器を備え、光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して収容局に送信し、光受信器は光変調信号を受信し、検波して送信データを再生する光—無線融合通信システムにおいて、光送信器および光受信器はそれぞれ次のような構成である。

[0023] 光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ )を出力する第1の単一スペクトル光源と、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c2}$ )を出力する第2の単一スペクトル光源と、第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c3}$ )を出力する第3の単一スペクトル光源と、第2の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度と、第3の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度について、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように調整し、2波を直交偏波合成して偏波合成光信号として出力する偏波合成手段とを備える。第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{c1}$ 、 $f_{c2}$ 、 $f_{c3}$ は、無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ に対して、

$$|f_{c1} - f_{c2}| = f_{RF} \pm f_{IF1}$$

$$|f_{c1} - f_{c3}| = f_{RF} \pm f_{IF2}$$

となるように制御される。光送信器は、偏波合成光信号を光搬送波信号として無線基地局へ送信し、第1の単一スペクトルの光信号を光受信器へ出力する構成である。

[0024] 光受信器は、無線基地局から送信された光変調信号と、光送信器から出力された第1の単一スペクトルの光信号とを合波する光合波器と、光合波器で合波された光信号を受光し、中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を出力する受光器と、受光器から出力された中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を検波する電気検波器と、電気検波器の出力信号を低域濾過し、送信データを出力する低域濾過フィルタとを備える。

[0025] 第2の発明によれば、光送信器は、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波を直交偏波合成した偏波合成光信号を光搬送波信号として

無線基地局へ送信し、第1の単一スペクトルの光信号を光受信器へ出力する。

- [0026] 無線基地局へ送信する偏波合成光信号の電界 $E_{\text{opt-c}}$ と、光受信器へ出力する光信号の電界 $E_{\text{opt-LO}}$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-c}} = A \cos(2\pi f_{C2} t + \phi_2(t)) + A \cos(2\pi f_{C3} t + \phi_3(t)) \quad \dots(7)$$

$$E_{\text{opt-LO}} = A_{LO} \cos(2\pi f_{C1} t + \phi_1(t)) \quad \dots(8)$$

ここで、 $A$ 、 $A_{LO}$ は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$ は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分を表す。また、(7)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅とする。

- [0027] 無線基地局では、光送信器から送信された光信号((7)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器へ送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{\text{opt-mod}}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{\text{opt-mod}} &\propto (1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ &\cdot [A \cos(2\pi f_{C2} (t+T) + \phi_2(t+T)) \\ &\quad + A \cos(2\pi f_{C3} (t+T) + \phi_3(t+T))] \quad \dots(9) \end{aligned}$$

ここで、 $m$ は光変調度、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分、 $T$ は光信号が収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間を表す。

- [0028] 光受信器では、光送信器から出力された光信号((8)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((9)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{\text{opt-co}}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{\text{opt-co}} &= A_{LO} \cos(2\pi f_{C1} t + \phi_1(t)) + (1/\gamma)(1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ &\cdot [A \cos(2\pi f_{C2} (t+2T) + \phi_2(t+2T)) \\ &\quad + A \cos(2\pi f_{C3} (t+2T) + \phi_3(t+2T))] \quad \dots(10) \end{aligned}$$

ここで、 $\gamma$ は無線基地局－光受信器リンクの光伝送損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma \gg 1$ である。

- [0029] (10)式の右辺の第1項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたために損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(10)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基

地局から送信された光変調信号((9)式)を高感度に受信することが可能となる。

- [0030] 受光器から出力される2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の電界 $E_{IF}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 E_{IF} \cong & G a_i [A \cdot A_{LO} \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\
 & + A \cdot A_{LO} \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \quad \dots(11) \\
 (\phi_1 = & \pm [4\pi f_{c2} T + \phi_2(t+2T) - \phi_1(t)]) \\
 (\phi_2 = & \pm [4\pi f_{c3} T + \phi_3(t+2T) - \phi_1(t)])
 \end{aligned}$$

ここで、Gは前記ヘテロダイン検波の利得に依存する係数、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$ はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の位相成分、 $\theta$ は無線基地局から送信された光変調信号のうち(9)式の第1項で表される光信号の偏波方向と、光送信器から出力された光信号((8)式)の偏波方向との間の角度を表すものとする。

- [0031] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数を設定した値となるよう制御しているため、光受信器では、複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数の信号を得ることができる。

- [0032] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 E_{BB} \propto & G^2 a_i^2 (A^2 \cdot A_{LO}^2 \cdot \cos^2 \theta + A^2 \cdot A_{LO}^2 \cdot \sin^2 \theta) \\
 = & G^2 a_i^2 \cdot A^2 \cdot A_{LO}^2 \quad \dots(12)
 \end{aligned}$$

- [0033] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号((7)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号((9)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。

- [0034] (第3の発明)

第3の発明は、第1または第2の発明の光—無線融合通信システムにおける光受信器の別の構成を示す。

- [0035] 光受信器は、第1または第2の発明における光受信器の電気検波器および低域濾過フィルタに代えて、受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号を分離するフィルタと、フィルタから出力される中間周波数 $f_{IF1}$



の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波する第1の電気検波器および第2の電気検波器と、第1の電気検波器の出力信号と第2の電気検波器の出力信号とを加算し、送信データを出力する加算器とを備える。

- [0036] 第3の発明における光受信器では、(5)式または(11)式の間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号をフィルタで分離することにより、次式の2つの中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号 $E_{IF1}$ ,  $E_{IF2}$ が得られる。

$$E_{IF1} \doteq G a_i A_{LO} \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \quad \cdots(13)$$

$$E_{IF2} \doteq G a_i A_{LO} \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2) \quad \cdots(14)$$

- [0037] この中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号はそれぞれ包絡線検波され、得られた電気信号は加算器で加算される。加算器で得られる電気信号の電界 $E_{BB}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB} &\propto G^2 a_i^2 (A_{LO}^2 \cdot \cos^2 \theta + A_{LO}^2 \cdot \sin^2 \theta) \\ &= G^2 a_i^2 \cdot A_{LO}^2 \end{aligned} \quad \cdots(15)$$

- [0038] ここで、第1の発明では光送信器から光受信器へ出力された偏波合成光信号((2)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有し、第2の発明では光送信器から無線基地局へ送信された光信号((7)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、第3の発明における光受信器の加算器の出力は、無線基地局から送信された光変調信号((3)式,(9)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。

- [0039] このように第3の発明によれば、光受信器において、無線周波数帯部品、中間周波数安定化回路および偏波ダイバーシティ回路を用いることなく、中間周波数帯の帯域を有する1つの受光器と2つの電気検波器からなる簡易な構成で高感度光受信が可能となる。

- [0040] (第4の発明)

第4の発明は、第1または第2の発明の光－無線融合通信システムにおける光受信器の別の構成を示す。

- [0041] 光受信器は、第1または第2の発明における光受信器の電気検波器および低域濾過フィルタに代えて、受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号を分離するフィルタと、フィルタから出力される中間周波数 $f_{IF1}$

の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波する第1の電気検波器および第2の電気検波器と、第1の電気検波器の出力信号と第2の電気検波器の出力信号の位相を揃えて加算し、送信データを出力する位相調整加算器とを備える。

[0042] 第4の発明における光受信器では、第3の発明における光受信器と同様に、無線基地局から送信された光変調信号の偏波方向に不感応な一定の出力の受信信号を得ることができるとともに、次の機能が加わる。第1の電気検波器の出力信号と第2の電気検波器の出力信号の位相を揃えて加算することにより、光伝送路の分散により第1の電気検波器の出力信号と第2の電気検波器の出力信号との間に生じる時間差を補償することができる。

[0043] このように、第4の発明によれば、第3の発明と同様に高感度光受信が可能になるとともに、光伝送路の分散の影響で第1の電気検波器の出力信号と第2の電気検波器の出力電気信号との間に生じる時間差を補償することにより、分散の影響を受けない光受信が実現できる。なお、第1の発明のように、光送信器から無線基地局に対して1波の光信号((2)式)を送信し、無線基地局から光受信器に光変調信号((3)式)を送信する場合には、2つの側帯波成分を有する光変調信号に光伝送路の分散の影響が現れる。また、第2の発明のように、光送信器から無線基地局に対して2波の偏波合成光信号((7)式)を送信し、無線基地局から光受信器に光変調信号((9)式)を送信する場合には、両光信号に光伝送路の分散の影響が現れる。

[0044] (第5の発明)

第5の発明は、第1の発明の光—無線融合通信システムにおいて、複数の無線基地局と、収容局に複数の無線基地局から送信された光変調信号をそれぞれ受信する複数の光受信器を備え、光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号を複数に分岐し、光搬送波信号として複数の無線基地局へそれぞれ送信する第1の光分岐器と、偏波合成光信号を複数に分岐し、複数の光受信器へそれぞれ出力する第2の光分岐器とを備える。

[0045] 第5の発明によれば、全ての光受信器において、無線周波数帯部品、中間周波数安定化回路及び偏波ダイバーシティ回路を用いる必要がなく、システム全体の構成

の大幅な簡略化が実現できる。

[0046] (第6の発明)

第6の発明は、第2の発明の光－無線融合通信システムにおいて、複数の無線基地局と、収容局に複数の無線基地局から送信された光変調信号をそれぞれ受信する複数の光受信器を備え、光送信器は、偏波合成光信号を複数の分岐し、光搬送波信号として複数の無線基地局へそれぞれ送信する第1の光分岐器と、第1の単一スペクトルの光信号を複数の分岐し、複数の光受信器へそれぞれ出力する第2の光分岐器とを備える。

[0047] 第6の発明によれば、全ての光受信器において、無線周波数帯部品、中間周波数安定化回路及び偏波ダイバーシティ回路を用いる必要がなく、システム全体の構成の大幅な簡略化が実現できる。

[0048] (第7の発明)

第7の発明は、第5の発明の光－無線融合通信システムにおいて、光送信器の第1の光分岐器に代えて、複数の無線基地局へそれぞれ送信する光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

[0049] 第7の発明によれば、光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(光搬送波信号)を複数の無線基地局へそれぞれ所定の光強度で送信し、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の光受信器へ出力する。

[0050] 無線基地局へ送信する光信号の電界 $E_{opt-c}(i)$ と、光受信器へ出力する偏波合成光信号の電界 $E_{opt-LO}(i)$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{opt-c}(i) = A_C(i) \cos(2\pi f_{c1}t + \phi_1(t)) \quad \dots(16)$$

$$E_{opt-LO}(i) = A_{LO} \cos(2\pi f_{c2}t + \phi_2(t)) + A_{LO} \cos(2\pi f_{c3}t + \phi_3(t)) \quad \dots(17)$$

ここで、 $i$ はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクを表す識別番号、 $A_C(i)$ 、 $A_{LO}$ は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$ は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分とする。また、(17)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅である。

[0051] 無線基地局では、光送信器から送信された光信号((16)式)を、無線端末から送信

された無線信号で光強度変調した後に、光受信器へ送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{\text{opt-mod}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-mod}}(i) \propto (1 + m(i) a_i \cos 2\pi f_{\text{RF}} t) \cdot A_c(i) \cos(2\pi f_{c1}(t+T) + \phi_1(t+T)) \quad \dots(18)$$

ここで、 $m(i)$ は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$ は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分を表す。

[0052] 光受信器では、光送信器から出力された偏波合成光信号((17)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((18)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{\text{opt-co}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-co}}(i) = A_{\text{LO}} \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_{\text{LO}} \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) + (1/\gamma(i)) (1 + m(i) a_i \cos 2\pi f_{\text{RF}} t) \cdot A_c(i) \cos(2\pi f_{c1}(t+2T) + \phi_1(t+2T)) \quad \dots(19)$$

ここで、 $\gamma(i)$ はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$ である。

[0053] また、(19)式の右辺の第1項および第2項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(19)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号((18)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0054] 受光器から出力される2波の中間周波数 $f_{\text{IF1}}$ 、 $f_{\text{IF2}}$ の電気信号の電界 $E_{\text{IF}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{IF}}(i) \propto (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_{\text{LO}} \cdot A_c(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF1}} t + \phi_1) + A_{\text{LO}} \cdot A_c(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF2}} t + \phi_2)] \\ = (1/k(i)) \cdot a_i [A_{\text{LO}} \cdot A_c(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF1}} t + \phi_1) + A_{\text{LO}} \cdot A_c(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF2}} t + \phi_2)] \quad \dots(20)$$

$$(\phi_1 = \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_2(t)])$$

$$(\phi_2 = \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_3(t)])$$

ここで、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$  はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号の位相成分、 $\theta$  は無線基地局から送信された光変調信号((18)式)の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(17)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。また、 $k(i)$  は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \dots(21)$$

[0055] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数が設定した値となるよう制御しているため、それぞれの光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号を得ることができる。

[0056] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各光無線基地局に送信する光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

[0057] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号を包絡線検波した後、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB}(i) &\propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_{LO}^2 A_c(i)^2 \cos^2 \theta + A_{LO}^2 A_c(i)^2 \sin^2 \theta) \\ &= (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}^2 A_c(i)^2 \quad \dots(22) \end{aligned}$$

[0058] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号((17)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、いずれの光受信器においても、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号((18)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第7の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

[0059] (第8の発明)

第8の発明は、第5の発明の光－無線融合通信システムにおいて、光送信器の第2の光分岐器に代えて、複数の光受信器へそれぞれ出力する偏波合成光信号の光強

度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

[0060] 第8の発明によれば、第1の単一スペクトルの光信号(光搬送波信号)を複数の無線基地局へ送信し、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定の光強度で出力する。

[0061] 無線基地局へ送信する光信号の電界 $E_{\text{opt-c}}(i)$ と、光受信器へ出力する偏波合成光信号の電界 $E_{\text{opt-LO}}(i)$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-c}}(i) = A_c \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \quad \dots(23)$$

$$E_{\text{opt-LO}}(i) = A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) \quad \dots(24)$$

ここで、 $i$ はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクを表す識別番号、 $A_c$ 、 $A_{LO}(i)$ は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$ は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分とする。また、(24)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅である。

[0062] 無線基地局では、光送信器から送信された光信号((23)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器に送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{\text{opt-mod}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-mod}}(i) \propto (1 + m(i)a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \cdot A_c \cos(2\pi f_{c1}(t+T) + \phi_1(t+T)) \quad \dots(25)$$

ここで、 $m(i)$ は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$ は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分を表す。

[0063] 光受信器では、光送信器から出力された偏波合成光信号((24)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((25)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{\text{opt-co}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-co}}(i) = A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) + (1/\gamma(i)) (1 + m(i)a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \cdot A_c \cos(2\pi f_{c1}(t+2T) + \phi_1(t+2T)) \quad \dots(26)$$

ここで、 $\gamma(i)$  はそれぞれの無線基地局—光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$ である。

[0064] (26)式の右辺の第1項および第2項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(26)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号((25)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0065] 受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の電界 $E_{IF}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{IF}(i) &\propto (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_{LO}(i) \cdot A_C \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{LO}(i) \cdot A_C \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \\ &= (1/k(i)) \cdot a_i [A_{LO}(i) \cdot A_C \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{LO}(i) \cdot A_C \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \quad \cdots(27) \\ (\phi_1 &= \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_2(t)]) \\ (\phi_2 &= \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_3(t)]) \end{aligned}$$

ここで、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$  はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の位相成分、 $\theta$  は無線基地局から送信された光変調信号((25)式)の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(25)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。また、 $k(i)$  は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \cdots(28)$$

[0066] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数が設定した値となるよう制御しているため、それぞれの光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号を得ることができる。

[0067] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各光受信器に出力する偏波合成光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

- [0068] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号を包絡線検波した後、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB}(i) &\propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_{LO}(i)^2 A_C^2 \cos^2 \theta + A_{LO}(i)^2 A_C^2 \sin^2 \theta) \\ &= (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}(i)^2 A_C^2 \quad \dots(29) \end{aligned}$$

- [0069] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号((24)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、いずれの光受信器においても、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号((25)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第8の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

- [0070] (第9の発明)

第9の発明は、第5の発明の光—無線融合通信システムにおいて、光送信器の第1の光分岐器に代えて、複数の無線基地局へそれぞれ送信する光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用い、第2の光分岐器に代えて、複数の光受信器へそれぞれ出力する偏波合成光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

- [0071] 第9の発明によれば、第1の単一スペクトルの光信号を複数の無線基地局へそれぞれ所定の光強度で送信し、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定の光強度で出力する。

- [0072] 無線基地局へ送信する光信号の電界 $E_{opt-c}(i)$  と、光受信器へ出力する偏波合成光信号の電界 $E_{opt-LO}(i)$  は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{opt-c}(i) = A_C(i) \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \quad \dots(30)$$

$$E_{opt-LO}(i) = A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) \quad \dots(31)$$

- [0073] 無線基地局では、光送信器から送信された光信号((30)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後、光受信器に送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{opt-mod}(i)$  は、次式のように表すことができる。



$$E_{\text{opt-mod}}(i) \propto (1 + m(i)a_i \cos 2\pi f_{\text{RF}} t) \cdot A_c(i) \cos(2\pi f_{c1}(t+T) + \phi_1(t+T)) \quad \dots(32)$$

ここで、 $m(i)$  は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$  は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$  は電界強度変調成分を表す。

[0074] 光受信器では、光送信器から出力された偏波合成光信号((31)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((32)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{\text{opt-co}}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-co}}(i) = A_{\text{LO}}(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_{\text{LO}}(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) + (1/\gamma(i)) (1 + m(i)a_i \cos 2\pi f_{\text{RF}} t) \cdot A_c(i) \cos(2\pi f_{c1}(t+2T) + \phi_1(t+2T)) \quad \dots(33)$$

ここで、 $\gamma(i)$  はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$  である。

[0075] (33)式の右辺の第1項および第2項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(33)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号((32)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0076] 受光器から出力される中間周波数 $f_{\text{IF1}}$ 、 $f_{\text{IF2}}$  の電気信号の電界 $E_{\text{IF}}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{\text{IF}}(i) &\propto (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_{\text{LO}}(i) \cdot A_c(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF1}} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{\text{LO}}(i) \cdot A_c(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF2}} t + \phi_2)] \\ &= (1/k(i)) \cdot a_i [A_{\text{LO}}(i) \cdot A_c(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF1}} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{\text{LO}}(i) \cdot A_c(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{\text{IF2}} t + \phi_2)] \quad \dots(34) \\ (\phi_1 &= \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_2(t)]) \\ (\phi_2 &= \pm [4\pi f_{c1} T + \phi_1(t+2T) - \phi_3(t)]) \end{aligned}$$

ここで、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$  はそれぞれの中間周波数 $f_{\text{IF1}}$ 、 $f_{\text{IF2}}$  の電気信号の位相成分、 $\theta$  は

無線基地局から送信された光変調信号((32)式)の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(31)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。また、 $k(i)$  は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \dots(35)$$

[0077] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の周波数を設定した値となるよう制御しているため、それぞれの光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を得ることができる。

[0078] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各無線基地局に送信する光信号の光強度および各光受信器に出力する偏波合成光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

[0079] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB}(i) &\propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \cos^2 \theta + A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \sin^2 \theta) \\ &= (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \quad \dots(36) \end{aligned}$$

[0080] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号((31)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、いずれの光受信器においても、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第9の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

[0081] (第10の発明)

第10の発明は、第6の発明の光—無線融合通信システムにおいて、光送信器の第1の光分岐器に代えて、複数の無線基地局へそれぞれ送信する光搬送波信号(偏波合成光信号)の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

[0082] 第10の発明によれば、光送信器は、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一

ペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の無線基地局へそれぞれ所定の光強度で送信し、第1の単一スペクトルの光信号を複数の光受信器へ出力する。

- [0083] 無線基地局へ送信する光信号の電界 $E_{opt-c}(i)$ と、光受信器へ出力する偏波合成光信号の電界 $E_{opt-LO}(i)$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{opt-c}(i) = A_c(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) \cdots (37)$$

$$E_{opt-LO}(i) = A_{LO} \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \cdots (38)$$

ここで、 $i$ はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクを表す識別番号、 $A_c(i)$ 、 $A_{LO}$ は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$ は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分とする。また、(37)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅である。

- [0084] 無線基地局では、光送信器から送信された偏波合成光信号((37)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器へ送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{opt-mod}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{opt-mod}(i) \propto & (1 + m(i) a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ & \cdot [A_c(i) \cos(2\pi f_{c2}(t+T) + \phi_2(t+T)) \\ & + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3}(t+T) + \phi_3(t+T))] \cdots (39) \end{aligned}$$

ここで、 $m(i)$ は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$ は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分を表す。

- [0085] 光受信器では、光送信器から出力された光信号((38)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((39)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{opt-co}$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{opt-co}(i) = & A_{LO} \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \\ & + (1/\gamma(i))(1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ & \cdot [A_c(i) \cos(2\pi f_{c2}(t+2T) + \phi_2(t+2T)) \\ & + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3}(t+2T) + \phi_3(t+2T))] \cdots (40) \end{aligned}$$

ここで、 $\gamma(i)$  はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$ である。

[0086] また、(40)式の右辺の第1項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(40)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号((39)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0087] 受光器から出力される2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の電界 $E_{IF}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{IF}(i) \propto (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_C(i) \cdot A_{LO} \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) + A_C(i) \cdot A_{LO} \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \quad \dots(41)$$

$$(\phi_1 = \pm [4\pi f_{c2} T + \phi_2(t+2T) - \phi_1(t)])$$

$$(\phi_2 = \pm [4\pi f_{c3} T + \phi_3(t+2T) - \phi_1(t)])$$

ここで、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$ はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の位相成分、 $\theta$ は無線基地局から送信された光変調信号((39)式)の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(37)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。また、 $k(i)$ は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \dots(42)$$

[0088] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数が設定した値となるよう制御しているため、光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を得ることができる。

[0089] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各光無線基地局に送信する偏波合成光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

[0090] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$E_{BB}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_C(i)^2 \cdot A_{LO}^2 \cdot \cos^2 \theta + A_C(i)^2 \cdot A_{LO}^2 \cdot \sin^2 \theta) \\ = (1/k(i))^2 a_i^2 A_C(i)^2 A_{LO}^2 \quad \dots(43)$$

[0091] ここで、光送信器から出力された偏波合成光信号 ((37)式) が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号 ((39)式) の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第10の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

[0092] (第11の発明)

第11の発明は、第6の発明の光－無線融合通信システムにおいて、光送信器の第2の光分岐器に代えて、複数の光受信器へそれぞれ出力する第1の単一スペクトルの光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

[0093] 第10の発明によれば、光送信器は、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の無線基地局へ送信し、第1の単一スペクトルの光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定の光強度で出力する。

[0094] 無線基地局へ送信する偏波合成光信号の電界  $E_{opt-c}(i)$  と、光受信器へ出力する光信号の電界  $E_{opt-LO}(i)$  は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{opt-c}(i) = A_C \cos(2\pi f_{C2} t + \phi_2(t)) + A_C \cos(2\pi f_{C3} t + \phi_3(t)) \quad \dots(44)$$

$$E_{opt-LO}(i) = A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{C1} t + \phi_1(t)) \quad \dots(45)$$

ここで、 $i$  はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクを表す識別番号、 $A_C$ 、 $A_{LO}(i)$  は電界振幅、 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 、 $\phi_3(t)$  は単一スペクトル光源の出力光信号の位相雑音成分とする。また、(45)式の右辺の第1項と第2項は、互いに直交した偏波方向を有し、等振幅である。

[0095] 無線基地局では、光送信器から送信された偏波合成光信号 ((44)式) を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器へ送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界  $E_{opt-mod}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$E_{opt-mod}(i) \propto (1+m(i)) a_i \cos 2\pi f_{RF} t \\ \cdot [A_C \cos(2\pi f_{C2} (t+T) + \phi_2(t+T))$$

$$+A_c \cos(2\pi f_{c3}(t+T) + \phi_3(t+T)) ] \quad \dots(46)$$

ここで、 $m(i)$  は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$  は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$  は電界強度変調成分を表す。

[0096] 光受信器では、光送信器から出力された偏波合成光信号 ((44)式) と、無線基地局から送信された光変調信号 ((46)式) とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界  $E_{opt-co}$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{opt-co}(i) = & A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c1}t + \phi_1(t)) \\ & + (1/\gamma(i))(1 + ma_i \cos 2\pi f_{RF}t) \\ & \cdot [A_c \cos(2\pi f_{c2}(t+2T) + \phi_2(t+2T)) \\ & + A_c \cos(2\pi f_{c3}(t+2T) + \phi_3(t+2T))] \quad \dots(47) \end{aligned}$$

ここで、 $\gamma(i)$  はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$  である。

[0097] また、(47)式の右辺の第1項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(47)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地局から送信された光変調信号 ((46)式) を高感度に受信することが可能となる。

[0098] 受光器から出力される2波の中間周波数  $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号の電界  $E_{IF}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{IF}(i) \propto & (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_c \cdot A_{LO}(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1}t + \phi_1) \\ & + A_c \cdot A_{LO}(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2}t + \phi_2)] \quad \dots(48) \\ (\phi_1 = & \pm [4\pi f_{c2}T + \phi_2(t+2T) - \phi_1(t)]) \\ (\phi_2 = & \pm [4\pi f_{c3}T + \phi_3(t+2T) - \phi_1(t)]) \end{aligned}$$

ここで、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$  はそれぞれの中間周波数  $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$  の電気信号の位相成分、 $\theta$  は無線基地局から送信された光変調信号 ((46)式) の偏波方向と、光送信器から出力された偏波合成光信号のうち(44)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角

度を表すものとする。また、 $k(i)$  は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \dots(49)$$

[0099] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数が設定した値となるよう制御しているため、光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を得ることができる。

[0100] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各光無線基地局に送信する偏波合成光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

[0101] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB}(i) &\propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_c^2 \cdot A_{LO}(i)^2 \cdot \cos^2 \theta + A_c^2 \cdot A_{LO}(i)^2 \cdot \sin^2 \theta) \\ &= (1/k(i))^2 a_i^2 A_c^2 A_{LO}(i)^2 \quad \dots(50) \end{aligned}$$

[0102] ここで、光送信器から送信された偏波合成光信号((44)式)が互いに直交した偏波方向と等しい光強度を有するため、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号((46)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第11の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

[0103] (第12の発明)

第12の発明は、第6の発明の光—無線融合通信システムにおいて、光送信器の第1の光分岐器に代えて、複数の無線基地局へそれぞれ送信する光搬送波信号(偏波合成光信号)の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用い、第2の光分岐器に代えて、複数の光受信器へそれぞれ出力する第1の単一スペクトルの光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる。

[0104] 第12の発明によれば、光送信器は、第2の単一スペクトルの光信号と第3の単一スペクトルの光信号の2波の偏波合成光信号を複数の無線基地局へそれぞれ所定の光強度で送信し、第1の単一スペクトルの光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定

の光強度で出力する。

- [0105] 無線基地局へ送信する偏波合成光信号の電界 $E_{\text{opt-c}}(i)$ と、光受信器へ出力する光信号の電界 $E_{\text{opt-LO}}(i)$ は、それぞれ次のように表すことができる。

$$E_{\text{opt-c}}(i) = A_c(i) \cos(2\pi f_{c2} t + \phi_2(t)) + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3} t + \phi_3(t)) \cdots (51)$$

$$E_{\text{opt-LO}}(i) = A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \cdots (52)$$

- [0106] 無線基地局では、光送信器から送信された偏波合成光信号((51)式)を、無線端末から送信された無線信号で光強度変調した後に、光受信器に送信する。2値デジタル強度変調により、光受信器へ送信される光変調信号の電界 $E_{\text{opt-mod}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{\text{opt-mod}}(i) \propto & (1 + m(i)a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ & \cdot [A_c(i) \cos(2\pi f_{c2}(t+T) + \phi_2(t+T)) \\ & + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3}(t+T) + \phi_3(t+T))] \cdots (53) \end{aligned}$$

ここで、 $m(i)$ は光変調度であり、光変調器に入力する無線信号の信号強度に依存し、各リンクにおける無線基地局－無線端末間の無線伝搬距離に依存する値である。また、 $T$ は収容局－無線基地局間の光伝送に要する時間、 $a_i (=0, 1)$ は電界強度変調成分を表す。

- [0107] 光受信器では、光送信器から出力された光信号((52)式)と、無線基地局から送信された光変調信号((53)式)とを合波した後に、受光器で自乗検波する。合波した光信号の電界 $E_{\text{opt-co}}(i)$ は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{\text{opt-co}}(i) = & A_{LO}(i) \cos(2\pi f_{c1} t + \phi_1(t)) \\ & + (1/\gamma(i))(1 + m a_i \cos 2\pi f_{RF} t) \\ & \cdot [A_c(i) \cos(2\pi f_{c2}(t+2T) + \phi_2(t+2T)) \\ & + A_c(i) \cos(2\pi f_{c3}(t+2T) + \phi_3(t+2T))] \cdots (54) \end{aligned}$$

ここで、 $\gamma(i)$ はそれぞれの無線基地局－光受信器リンクの光伝送路損失や無線基地局内の光変調器の挿入損失などの損失の合計を表し、 $\gamma(i) \gg 1$ である。

- [0108] (54)式の右辺の第1項の光信号は、光送信器から光受信器に直接入力されたため損失がなく、十分な光強度を有している。このため、(54)式の光信号を受光器で自乗検波することで、高感度受信法として知られるヘテロダイン検波と同様に、無線基地



局から送信された光変調信号((53)式)を高感度に受信することが可能となる。

[0109] 受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の電界 $E_{IF}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{IF}(i) &\propto (m(i)/\gamma(i)) \cdot a_i [A_{LO}(i) \cdot A_C(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{LO}(i) \cdot A_C(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \\ &= (1/k(i)) a_i [A_{LO}(i) \cdot A_C(i) \cdot \cos \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF1} t + \phi_1) \\ &\quad + A_{LO}(i) \cdot A_C(i) \cdot \sin \theta \cdot \cos(2\pi f_{IF2} t + \phi_2)] \quad \dots(55) \\ (\phi_1 &= \pm [4\pi f_{c2} T + \phi_2(t+2T) - \phi_1(t)]) \\ (\phi_2 &= \pm [4\pi f_{c3} T + \phi_3(t+2T) - \phi_1(t)]) \end{aligned}$$

ここで、 $\phi_1$ ,  $\phi_2$  はそれぞれの中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の位相成分、 $\theta$  は無線基地局から送信された光変調信号((53)式)の偏波方向と、光送信器から送信された偏波合成光信号のうち(51)式の第1項で表される光信号の偏波方向との間の角度を表すものとする。また、 $k(i)$  は各リンクにおける光伝送路長、無線伝搬距離に依存し、光変調信号の電界成分を表す係数で、次式を満たす。

$$k(i) = \gamma(i)/m(i) \quad \dots(56)$$

[0110] 光送信器では、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の周波数を設定した値となるよう制御しているため、それぞれの光受信器において複雑な構成の無線周波数帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、安定な中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号を得ることができる。

[0111] さらに、光送信器の出力制御光分岐器で、各無線基地局に送信する偏波合成光信号の光強度および各光受信器に出力する光信号の光強度を制御することで、それぞれの光受信器の受光器の出力として得られる中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号の信号強度を制御できることが分かる。

[0112] 2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$  の電気信号を包絡線検波した後に、低域濾過フィルタを通して得られる電気信号の電界 $E_{BB}(i)$  は、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} E_{BB}(i) &\propto (1/k(i))^2 a_i^2 (A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \cos^2 \theta + A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \sin^2 \theta) \\ &= (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \quad \dots(57) \end{aligned}$$

[0113] ここで、光送信器から送信された偏波合成光信号((51)式)が互いに直交した偏波

方向と等しい光強度を有するため、いずれの光受信器においても、低域濾過フィルタの出力信号強度が、無線基地局から送信された光変調信号((53)式)の偏波方向に不感応であることが分かる。なお、第12の発明において、第3または第4の発明の光受信器を用いた場合に、加算器または位相調整加算器で得られる電気信号についても同様である。

[0114] (第13の発明)

第13の発明は、第7～第12の発明の光－無線融合通信システムにおける光送信器の出力制御光分岐器として、分岐出力する各光信号の光強度について、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度が、無線基地局から受信した光信号の光強度に依らずに一定になるように設定する構成とする。

[0115] 第7～第12の発明において、受光器から出力される2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の電界 $E_{IF}$ (i)は、(20)式、(27)式、(34)式、(41)式、(48)式、(55)式にそれぞれあるが、これらの信号強度 $P_{IF}$ (i)は次式で表される。

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}^2 A_C(i)^2 \quad \dots(58)$$

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}(i)^2 A_C^2 \quad \dots(59)$$

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_{LO}(i)^2 A_C(i)^2 \quad \dots(60)$$

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_C(i)^2 A_{LO}^2 \quad \dots(61)$$

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_C^2 A_{LO}(i)^2 \quad \dots(62)$$

$$P_{IF}(i) \propto (1/k(i))^2 a_i^2 A_C(i)^2 A_{LO}(i)^2 \quad \dots(63)$$

[0116] よって、それぞれ $A_C(i)/k(i)$ 、 $A_{LO}(i)/k(i)$ 、 $A_{LO}(i)A_C(i)/k(i)$ が一定になるように、各無線基地局に送信する光搬送波信号および／または各光受信器に出力する光信号の光強度を制御することにより、光伝送路長および無線伝搬距離に関わらず、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度を一定に保つことができる。これにより、一定強度の中間周波数の電気信号が出力されるため、中間周波数において増幅器の利得を調節する必要がなくなり、この中間周波数の利得調整の性能に制限されない広いダイナミックレンジを確保できる。

[0117] (第14の発明)

第14の発明は、第7～第12の発明の光－無線融合通信システムにおける光送信

器の出力制御光分岐器として、各無線基地局に送信する光搬送波信号および／または各光受信器に出力する光信号の光強度について、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度が、全ての光受信器において均一になるように設定する構成とする。

- [0118] 例えば第8の発明のように、第1の単一スペクトルの光信号を分岐して複数の無線基地局に送信し、偏波合成光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定の光強度で出力する構成において、無線端末からの送信信号を良好な品質で受信するための条件を(59)式に対応して次のように定義する。

$$A_{LO}(i) A_c / k(i) \geq A_{th} \quad \dots(64)$$

- [0119] また、リンク数を $N$ とし、光変調信号電界係数 $k(i)$ の最大値を $k_{max}$ と仮定する。

$$1 \leq i \leq N, k(i) \leq k_{max} \quad \dots(65)$$

- [0120] 第1～第6の発明において、光送信器からそれぞれの光受信器に分配する光信号強度は等しいので、いずれのリンクでも(64)式が成り立つためには、全てのリンクに、無線基地局から送信される光信号強度が最小の場合でも良好な受信特性が得られるだけの光信号強度を分配することになる。

$$A_{LO}(i) A_c / k_{max} \geq A_{th} \quad \dots(66)$$

- [0121] よって、光送信器から全ての光受信器に供給する光信号強度の総計 $P_{all}$ は

$$\begin{aligned} P_{all} &\geq \sum R \{A_{LO}(i)\}^2 [i=1 \sim N] \\ &= (R A_{th}^2 / A_c^2) \cdot k_{max}^2 N \end{aligned} \quad \dots(67)$$

で与えられる。ここで、 $R$ は比例定数である。

- [0122] 一方、本発明において、全ての光受信器に供給する光信号強度の総計 $P'_{all}$ は

$$\begin{aligned} P'_{all} &\geq \sum R \{A_{LO}(i)\}^2 [i=1 \sim N] \\ &= (R A_{th}^2 / A_c^2) \cdot \sum \{k(i)\}^2 [i=1 \sim N] \end{aligned} \quad \dots(68)$$

で与えられる。

- [0123] ここで、(65)式より、明らかに

$$\sum \{k(i)\}^2 [i=1 \sim N] \leq k_{max}^2 N \quad \dots(69)$$

が成り立つので、次式が成り立つ。

$$P'_{all} \leq P_{all} \quad \dots(70)$$

- [0124] すなわち、本発明によれば、第1～第6の発明に比べてより小さな光信号強度で同じ数のリンクを収容することができる。その効果を共用効果係数 $\alpha$ として、次式で表すこととする。

$$\begin{aligned}\alpha &= P_{\text{all}} / P_{\text{all}}' \\ &= (k_{\text{max}}^2 N) / (\sum \{k(i)\}^2 [i=1 \sim N]) \geq 1 \quad \dots(71)\end{aligned}$$

これにより、本方式によれば、第1～第6の発明に比べて $\alpha$ 倍の数の無線基地局－光受信器リンクを収容できると言える。

- [0125] 具体的な効果を示すために、各無線基地局－光受信器リンクにおける変調光信号損失係数 $k(i)$ が、次式で表されるような一例について $\alpha$ を算出する。

$$\begin{aligned}\{k(i)\}^2 &= ik_0^2 \\ (k_{\text{max}}^2 &= Nk_0^2) \quad \dots(72)\end{aligned}$$

- [0126] (72)式は、例えば、 $N$ 個の無線基地局は収容局から均等な間隔で配置されており、かつ全ての無線基地局における無線伝搬距離が等しい場合に成り立つ。

これを(71)式に当てはめると、

$$\begin{aligned}\alpha &= (k_{\text{max}}^2 N) / (\sum \{k(i)\}^2 [i=1 \sim N]) \\ &= (Nk_0^2 \cdot N) / (\sum ik_0^2 [i=1 \sim N]) \\ &= (N^2) / (N(N+1)/2) = 2 / (1 + (1/N)) < 2 \quad \dots(73)\end{aligned}$$

- [0127] この結果から、 $N$ の値に応じて第1～第6の発明に対する利得は変化し、その値は3 dB弱であることが分かる。すなわち、本発明によれば、従来の技術に比べて2倍近くの数無線基地局－光受信器リンクを収容できることになる。

- [0128] このように、本発明によれば、分配できるリンク数が増えることにより、より大きな共用効果が得られ、結果としてシステム全体のコストを低減できる。

- [0129] なお、第7の発明、第9の発明、第10～第11の発明において、無線基地局に送信する光信号または光受信器に出力する光信号の各光強度を調整する場合でも同様の効果が得られる。

- [0130] (第15の発明)

第15の発明は、第7～第12の発明の光－無線融合通信システムにおける光送信器の出力制御光分岐器として、各無線基地局に送信する光搬送波信号および／ま

たは各光受信器に出力する光信号の光強度について、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{11}$ ,  $f_{12}$ の電気信号の信号対雑音比が、全ての光受信器において均一になるよう設定する構成とする。

- [0131] 例えば第8の発明のように、第1の単一スペクトルの光信号を分岐して複数の無線基地局に送信し、偏波合成光信号を複数の光受信器へそれぞれ所定の光強度で出力する構成において、光受信器の受光器から出力される電気信号の信号対雑音比 SNRは、次式のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= (S^2 \cdot P_{\text{LO}}(i) \cdot P_c \cdot a_i / k(i)^2) / (2eSP_{\text{LO}}(i)R_L B + 2k\text{TFB}) \\ &= \{ (S^2 \cdot P_{\text{LO}}(i)) / (N_{\text{shot}} P_{\text{LO}}(i) + N_{\text{thermal}}) \} P_s(i) \\ &= G(P_{\text{LO}}(i)) \cdot P_s(i) \quad \dots(74) \\ (P_s(i) &= P_c \cdot a_i / k(i)^2, N_{\text{shot}} = 2eSR_L B, N_{\text{thermal}} = 2k\text{TFB}) \end{aligned}$$

ここで、Sは受光器の感度、 $P_s(i)$ は各リンクの光変調信号強度、 $R_L$ は負荷抵抗、eは電子電荷、kはボルツマン係数、Tは温度、Fは光受信器の雑音指数、Bは信号帯域幅を表し、G(x)は次式で表される関数である。

$$G(x) = S^2 x / (N_{\text{shot}} x + N_{\text{thermal}}) \quad \dots(75)$$

- [0132] 各リンクにおいて、無線端末からの送信信号を良好な品質で受信するための条件を次式のように定義する。

$$G(P_{\text{LO}}(i)) \geq \text{SNR}_{\text{th}} / P_s(i) \quad \dots(76)$$

ここで、 $\text{SNR}_{\text{th}}$ は所要信号対雑音比を表すものとする。

- [0133] 第1～第6の発明において、光送信器からそれぞれの光受信器に分配する光信号強度は等しいので、いずれのリンクでも(76)式が成り立つためには、全てのリンクに、無線基地局から送信される光信号強度が最小の場合でも良好な受信特性が得られるだけの光信号強度を分配することになる。

- [0134] 最も大きな損失を受けるリンク( $k(i) = k_{\text{max}}$ )の変調光信号強度を $P_{s-\text{min}}$ とすると、光送信器から全ての光受信器に供給する光信号強度の総計 $P_{\text{all}}$ は

$$\begin{aligned} P_{\text{all}} &= \sum G^{-1}(\text{SNR}_{\text{th}} / P_{s-\text{min}}) [i=1 \sim N] \\ &= G^{-1}(\text{SNR}_{\text{th}} / P_{s-\text{min}}) \cdot N \quad \dots(77) \end{aligned}$$

で与えられる。

[0135] 一方、本発明において、全ての光受信器に供給する光信号強度の総計 $P'_{all}$ は

$$P'_{all} = \sum G^{-1}(\text{SNR}_{th} / P_s(i)) [i=1 \sim N] \quad \dots(78)$$

で与えられる。

ここで、

$$\begin{aligned} dG(x) / dx &= (d/dx) (S^2 x / (N_{shot} x + N_{thermal})) \\ &= S^2 N_{thermal} / (N_{shot} x + N_{thermal})^2 > 0 \quad \dots(79) \end{aligned}$$

から、 $G(P_{LO}(i))$ は $P_{LO}(i)$ に対して単調増加であるので、次式が成り立つ。

$$G^{-1}(\text{SNR}_{th} / P_s(i)) \leq G^{-1}(\text{SNR}_{th} / P_{s-min}) \quad \dots(80)$$

よって、明らかに

$$P'_{all} \leq P_{all} \quad \dots(81)$$

が成り立ち、第14の発明と同様に、第1～第6の発明に比べてより小さな光信号強度で同じ数のリンクを収容することができるため、システム全体のコストを低減できる。

[0136] なお、第7の発明、第9の発明、第10～第12の発明において、無線基地局に送信する光信号または光受信器に出力する光信号の各光強度を調整する場合でも同様の効果が得られる。

[0137] (第16の発明)

第16の発明は、収容局に光送信器および光受信器を備え、光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して収容局に送信し、光受信器は光変調信号を受信し、検波して送信データを再生する光-無線融合通信方法において、光送信器および光受信器に特徴がある。

[0138] 光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ )を光搬送波信号として無線基地局へ送信し、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c2}$ )と第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c3}$ )の偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように2波を直交偏波合成した偏波合成光信号を光受信器へ出力し、第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{c1}$ 、 $f_{c2}$ 、 $f_{c3}$ は、無線信号の周波数 $f_R$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ に対して、

$$\begin{aligned} |f_{C1} - f_{C2}| &= f_{RF} \pm f_{IF1} \\ |f_{C1} - f_{C3}| &= f_{RF} \pm f_{IF2} \end{aligned}$$

となるように制御する。

- [0139] 光受信器は、無線基地局から送信された光変調信号と光送信器から出力された偏波合成光信号とを合波し、合波された光信号を受光して得られた中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を検波し、その出力信号を低域濾過して送信データを生成する。

- [0140] (第17の発明)

第17の発明は、収容局に光送信器および光受信器を備え、光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して収容局に送信し、光受信器は光変調信号を受信し、検波して送信データを再生する光-無線融合通信方法において、光送信器および光受信器に特徴がある。

- [0141] 光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C1}$ )を光受信器へ出力し、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C2}$ )と第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C3}$ )の偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように2波を直交偏波合成して偏波合成光信号を生成し、光搬送波信号として無線基地局へ送信し、第1, 第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{C1}$ ,  $f_{C2}$ ,  $f_{C3}$ は、無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ に対して、

$$\begin{aligned} |f_{C1} - f_{C2}| &= f_{RF} \pm f_{IF1} \\ |f_{C1} - f_{C3}| &= f_{RF} \pm f_{IF2} \end{aligned}$$

となるように制御する。

- [0142] 光受信器は、無線基地局から送信された光変調信号と光送信器から出力された光信号とを合波し、合波された光信号を受光して得られた中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を検波し、その出力信号を低域濾過して送信データを生成する。

- [0143] (第18の発明)

第18の発明は、第16, 第17の発明において、光受信器は、中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を分離し、中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号

をそれぞれ検波し、各出力信号を加算して送信データを生成する。

[0144] (第19の発明)

第19の発明は、第16、第17の発明において、光受信器は、中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を分離し、中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波し、各出力信号の位相を揃えてから加算して送信データを生成する。

### 発明の効果

[0145] 本発明の光－無線融合通信システムは、無線基地局で無線信号により変調された光変調信号を送信し、収容局の光受信器で受信する構成において、光受信器に無線周波数帯の光変調器、光増幅器、中間周波数安定化回路および偏波変動補償回路等を用いることなく、1つの受光器で安定な中間周波数の変調信号を得ることができる。これにより、光－無線融合通信システムは安価かつ簡単な構成で、無線基地局から送信された光変調信号を高感度受信することができるので、無線エリアの拡大とシステムコストの削減が可能になる。

[0146] さらに、本発明の光－無線融合通信システムは、収容局の光送信器から無線基地局および光受信器に供給する光信号の光強度を制御することにより、受光器の出力変動を抑制してダイナミックレンジを拡大することができる。また、無線基地局－光受信器リンクに対して配分する光強度を制御することにより、一部のリンクで光強度過剰または光強度過小になる状態を回避し、1つの光送信器でより多くの無線基地局－光受信器リンクを収容することができる。

### 図面の簡単な説明

[0147] [図1]本発明の光－無線融合通信システムの第1の実施形態を示す図。

[図2]偏波合成手段の構成例を示す図。

[図3]光受信器120(A)の第1の構成例を示す図。

[図4]光受信器120(A)の第2の構成例を示す図。

[図5]光受信器120(A)の第3の構成例を示す図。

[図6]第1の実施形態および光受信器120(A)の第1の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。



[図7]第1の実施形態および光受信器120(A)の第2,第3の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。

[図8]第1の実施形態および光受信器120(A)の第3の構成例における各信号のタイムチャート。

[図9]本発明の光－無線融合通信システムの第2の実施形態を示す図。

[図10]偏波合成手段の構成例を示す図。

[図11]光受信器120(B)の第1の構成例を示す図。

[図12]光受信器120(B)の第2の構成例を示す図。

[図13]光受信器120(B)の第3の構成例を示す図。

[図14]第2の実施形態および光受信器120(B)の第1の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。

[図15]第2の実施形態および光受信器120(B)の第2,第3の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。

[図16]第2の実施形態および光受信器120(B)の第3の構成例における各信号のタイムチャート。

[図17]本発明の光－無線融合通信システムの第3の実施形態を示す図。

[図18]本発明の光－無線融合通信システムの第4の実施形態を示す図。

[図19]本発明の光－無線融合通信システムの第5の実施形態を示す図。

[図20]本発明の光－無線融合通信システムの第6の実施形態を示す図。

[図21]本発明の光－無線融合通信システムの第7の実施形態を示す図。

[図22]第5～第7の実施形態における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。

[図23]本発明の光－無線融合通信システムの第8の実施形態を示す図。

[図24]本発明の光－無線融合通信システムの第9の実施形態を示す図。

[図25]本発明の光－無線融合通信システムの第10の実施形態を示す図。

[図26]第8～第10の実施形態における各信号の周波数スペクトルの一例を示す図。

[図27]従来の光－無線融合通信システムの構成例を示す図。

[図28]光受信器の構成例を示す図。

[図29]従来の光－無線融合通信システムにおける各信号の周波数スペクトルの一例

を示す図。

### 発明を実施するための最良の形態

#### [0148] (第1の実施形態)

図1は、本発明の光―無線融合通信システムの第1の実施形態を示す。なお、本実施形態では、収容局100に1つの無線基地局300が接続され、その無線基地局300に1つの無線端末400が接続される構成例に基づいて説明する。

[0149] 図において、収容局100は、光送信器110(A1)および光受信器120(A)を備える。光送信器110(A1)は、それぞれ単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ ) 1a, 1b, 1cを出力する単一スペクトル光源111, 112, 113と、単一スペクトルの光信号1b, 1cを入力し、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように直交偏波合成した偏波合成光信号1dを出力する偏波合成手段114を備える。単一スペクトルの光信号1aは、光搬送波信号として光伝送路201を介して無線基地局300へ送信され、無線基地局300の光変調器301に入力する。

[0150] 一方、無線端末400は、発振器401から変調器402に入力される電気搬送波信号(周波数 $f_{RF}$ )を送信データ1eで振幅変調し、例えばミリ波帯の無線信号1fとしてアンテナ403から無線基地局300へ送信する。無線基地局300は、送信データ1eで変調された無線信号1fをアンテナ302で受信し、光変調器301に入力する。光変調器301は、受信した無線信号で光送信器110(A1)から送信された光信号1aを光強度変調し、その光変調信号1gを光伝送路202を介して収容局100の光受信器120(A)へ送信する。

[0151] 光受信器120(A)は、無線基地局300の光送信器301から送信された光変調信号1gと、収容局100内の光送信器110(A1)の偏波合成手段114から出力された偏波合成光信号1dを入力し、無線端末400から無線基地局300を介して伝送された送信データ1eに対応する送信データ1kを再生する構成である。

[0152] 図2は、偏波合成手段114の構成例を示す。図において、単一スペクトルの光信号1b, 1cは、偏波調整器1141, 1142で互いの偏波方向が直交するように調整され、出力調整器1143, 1144で互いの光強度が等しくなるように調整され、偏波保持型の光合波器145で直交偏波合成され、偏波合成光信号1dとして出力される。なお、

この構成は一例であり、例えば単一スペクトル光源112, 113が偏波調整器1141, 1142および出力調整器1143, 1144の機能を有し、偏波合成手段114は偏波保持型の光合波器145のみで構成してもよい。

[0153] 図3は、光受信器120(A)の第1の構成例を示す。図6は、第1の実施形態および光受信器120(A)の第1の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す。

[0154] 図3において、光受信器120(A1)は、光合波器121、受光器122、電気検波器123および低域濾過フィルタ(LPF)124により構成される。光合波器121は、無線基地局300から送信された光変調信号1gと、光送信器110(A1)から出力された偏波合成光信号1dとを合波し、合波した光信号1h((4)式)は受光器122で電気信号に変換される。

[0155] ここで、光送信器110(A1)では、単一スペクトルの光信号1a, 1b, 1cの中心周波数 $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}$ は、無線信号1fの周波数 $f_{RF}$ 、所定の間周波数 $f_{IF1}, f_{IF2}$ に対して、

$$\begin{aligned} |f_{C1} - f_{C2}| &= f_{RF} \pm f_{IF1} \\ |f_{C1} - f_{C3}| &= f_{RF} \pm f_{IF2} \end{aligned}$$

となるように制御される。これにより、光受信器120(A1)でミリ波帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、受光器122の出力として直接、安定な2波の間周波数 $f_{IF1}, f_{IF2}$ の電気信号1i((5)式)を得ることができる。さらに、光送信器110(A1)から十分な光強度の偏波合成光信号1dを光受信器120(A1)に入力することにより、光ヘテロダイン検波による利得が得られる。受光器122から出力される電気信号1iは電気検波器123でまとめて検波され、その検波信号1jを低域濾過フィルタ124に通すことにより、送信データ1k((6)式)を得ることができる。

[0156] ここで、光送信器110(A1)から出力される偏波合成光信号1dが互いに直交した偏波方向を有しかつ等しい光強度を有するので、低域濾過フィルタ124から出力されるデータ信号1kは、無線基地局300から送信された光変調信号1gの偏波方向に依存することなく、一定の値となる。

[0157] 図4は、光受信器120(A)の第2の構成例を示す。図7は、第1の実施形態および光受信器120(A)の第2の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す。

- 。
- [0158] 図4において、光受信器120(A2)は、光合波器121、受光器122、フィルタ125、電気検波器123-1、123-2および加算器126により構成される。光合波器121は、無線基地局300から送信された光変調信号1gと、光送信器110(A1)から出力された偏波合成光信号1dとを合波し、合波した光信号1h((4)式)は受光器122で電気信号に変換される。そして、上記の周波数関係により、受光器122の出力として直接、安定な2波の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号1i((5)式)を得ることができる。
- [0159] フィルタ125は、中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号1i((5)式)を入力し、中間周波数 $f_{IF}$ の電気信号1i<sub>1</sub>((13)式) および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号1i<sub>2</sub>((14)式) に分離する。各電気信号1i<sub>1</sub>、1i<sub>2</sub>は電気検波器123-1、123-2でそれぞれ検波され、それぞれの検波信号を加算器126で加算することにより、送信データ1k ((15)式)を得ることができる。
- [0160] ここで、光送信器110(A1)から出力される偏波合成光信号1dが互いに直交した偏波方向を有しかつ等しい光強度を有するので、加算器126から出力されるデータ信号1kは、無線基地局300から送信された光変調信号1gの偏波方向に依存することなく、一定の値となる。
- [0161] 図5は、光受信器120(A) の第3の構成例を示す。図7および図8は、第1の実施形態および光受信器120(A) の第3の構成例における各信号の周波数スペクトルおよびタイムチャートの一例を示す。
- [0162] 図5において、光受信器120(A3)は、光合波器121、受光器122、フィルタ125、電気検波器123-1、123-2および位相調整加算器127により構成される。光合波器121、受光器122、フィルタ125により、中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号1i<sub>1</sub>((13)式) および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号1i<sub>2</sub>((14)式) が出力され、それぞれ電気検波器123-1、123-2でそれぞれ検波される構成は、光受信器120(A2)と同様である。
- [0163] 本構成では、図8に示すように、光伝送路201、202の分散により、第1の電気検波器の出力信号1j<sub>1</sub>と第2の電気検波器の出力信号1j<sub>2</sub>との間に時間差 $\Delta T$ が生じる場合を想定している。このとき、位相調整加算器127で出力信号1j<sub>1</sub>、1j<sub>2</sub>の位相を揃えて加算することにより、その時間差を補償し、光伝送路の分散の影響を受けない送信

データ1kを得る。

[0164] (第2の実施形態)

図9は、本発明の光-無線融合通信システムの第2の実施形態を示す。なお、本実施形態では、収容局100に1つの無線基地局300が接続され、その無線基地局300に1つの無線端末400が接続される構成例に基づいて説明する。

[0165] 図において、収容局100は、光送信器110(B1)および光受信器120(B)を備える。光送信器110(B1)は、それぞれ単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ ) 2a, 2b, 2cを出力する単一スペクトル光源111, 112, 113と、単一スペクトルの光信号1b, 1cを入力し、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように直交偏波合成した偏波合成光信号2dを出力する偏波合成手段114を備える。この偏波合成光信号2dは、光搬送波信号として光伝送路201を介して無線基地局300へ送信され、無線基地局300の光変調器301に入力する。

[0166] 一方、無線端末400は、発振器401から変調器402に入力される電気搬送波信号(周波数 $f_{rf}$ )を送信データ2eで振幅変調し、例えばミリ波帯の無線信号2fとしてアンテナ403から無線基地局300へ送信する。無線基地局300は、送信データ2eで変調された無線信号2fをアンテナ302で受信し、光変調器301に入力する。光変調器301は、受信した無線信号で光送信器110(B1)から送信された偏波合成光信号2dを光強度変調し、その光変調信号2gを光伝送路202を介して収容局100の光受信器120(B)へ送信する。

[0167] 光受信器120(B)は、無線基地局300の光送信器301から送信された光変調信号2gと、収容局100内の光送信器110(A1)の単一スペクトル光源111から出力された光周波数 $f_{c1}$ の光信号2aを入力し、無線端末400から無線基地局300を介して伝送された送信データ2eに対応する送信データ2kを再生する構成である。

[0168] 図10は、偏波合成手段114の構成例を示す。図において、単一スペクトルの光信号2b, 2cは、偏波調整器1141, 1142で互いの偏波方向が直交するように調整され、出力調整器1143, 1144で互いの光強度が等しくなるように調整され、偏波保持型の光合波器145で直交偏波合成され、偏波合成光信号2dとして出力される。なお、この構成は一例であり、例えば単一スペクトル光源112, 113が偏波調整器1141, 1

142および出力調整器1143, 1144の機能を有し、偏波合成手段114は偏波保持型の光合波器145のみで構成してもよい。

[0169] 図11は、光受信器120(B)の第1の構成例を示す。図14は、第2の実施形態および光受信器120(B)の第1の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す。

[0170] 図11において、光受信器120(B1)は、光合波器121、受光器122、電気検波器123および低域濾過フィルタ(LPF)124により構成される。光合波器121は、無線基地局300から送信された光変調信号2gと、光送信器110(B1)から出力された光信号2aとを合波し、合波した光信号2h((10)式)は受光器122で電気信号に変換される。

[0171] ここで、光送信器110(B1)では、単一スペクトルの光信号2a, 2b, 2cの中心周波数 $f_{C1}, f_{C2}, f_{C3}$ は、無線信号2fの周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}, f_{IF2}$ に対して、

$$|f_{C1} - f_{C2}| = f_{RF} \pm f_{IF1}$$

$$|f_{C1} - f_{C3}| = f_{RF} \pm f_{IF2}$$

となるように制御される。これにより、光受信器120(B1)でミリ波帯部品や中間周波数安定化回路を用いることなく、受光器122の出力として直接、安定な2波の中間周波数 $f_{IF1}, f_{IF2}$ の電気信号2i((11)式)を得ることができる。さらに、光送信器110(B1)から十分な光強度の光信号2aを光受信器120(B1)に入力することにより、光ヘテロダイン検波による利得が得られる。受光器122から出力される電気信号2iは電気検波器123でまとめて検波され、その検波信号2jを低域濾過フィルタ124に通すことにより、送信データ2k((12)式)を得ることができる。

[0172] ここで、光送信器110(B1)から送信される光搬送波信号(偏波合成光信号2d)が互いに直交した偏波方向を有しかつ等しい光強度を有するので、低域濾過フィルタ124から出力されるデータ信号2kは、無線基地局300から送信された光変調信号2gの偏波方向に依存することなく、一定の値となる。

[0173] 図12は、光受信器120(B)の第2の構成例を示す。図15は、第2の実施形態および光受信器120(B)の第2の構成例における各信号の周波数スペクトルの一例を示す。

[0174] 図12において、光受信器120(B2)は、光合波器121、受光器122、フィルタ125、

電気検波器123-1, 123-2および加算器126により構成される。光合波器121は、無線基地局300から送信された光変調信号2gと、光送信器110(B1)から出力された光信号2aとを合波し、合波した光信号2h((10)式)は受光器122で電気信号に変換される。そして、上記の周波数関係により、受光器122の出力として直接、安定な2波の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号2i((11)式)を得ることができる。

[0175] フィルタ125は、中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号2i((11)式)を入力し、中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号2i<sub>1</sub>((13)式) および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号2i<sub>2</sub>((14)式) に分離する。各電気信号2i<sub>1</sub>, 2i<sub>2</sub>は電気検波器123-1, 123-2でそれぞれ検波され、それぞれの検波信号を加算器126で加算することにより、送信データ2k((15)式)を得ることができる。

[0176] ここで、光送信器110(B1)から送信される光搬送波信号(偏波合成光信号2d)が互いに直交した偏波方向を有しかつ等しい光強度を有するので、加算器126から出力されるデータ信号2kは、無線基地局300から送信された光変調信号2gの偏波方向に依存することなく、一定の値となる。

[0177] 図13は、光受信器120(B)の第3の構成例を示す。図15および図16は、第2の実施形態および光受信器120(B)の第3の構成例における各信号の周波数スペクトルおよびタイムチャートの一例を示す。

[0178] 図13において、光受信器120(B3)は、光合波器121、受光器122、フィルタ125、電気検波器123-1, 123-2および位相調整加算器127により構成される。光合波器121、受光器122、フィルタ125により、中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号2i<sub>1</sub>((13)式) および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号2i<sub>2</sub>((14)式) が出力され、それぞれ電気検波器123-1, 123-2でそれぞれ検波される構成は、光受信器120(B2)と同様である。

[0179] 本構成では、図16に示すように、光伝送路201, 202の分散により、第1の電気検波器の出力信号2j<sub>1</sub>と第2の電気検波器の出力信号2j<sub>2</sub>との間に時間差 $\Delta T$ が生じる場合を想定している。このとき、位相調整加算器127で出力信号2j<sub>1</sub>, 2j<sub>2</sub>の位相を揃えて加算することにより、その時間差を補償し、光伝送路の分散の影響を受けない送信データ2kを得る。

[0180] (第3の実施形態)

図17は、本発明の光－無線融合通信システムの第3の実施形態を示す。なお、本実施形態では、収容局100に複数の無線基地局300-1～300-3が接続され、各無線基地局300にそれぞれ無線端末(図では省略)が接続される構成例に基づいて説明する。

[0181] 図において、収容局100は、光送信器110(A2)および複数の光受信器120(A)-1～120(A)-3を備える。光送信器110(A2)は、それぞれ単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ ) 1a, 1b, 1cを出力する単一スペクトル光源111, 112, 113と、単一スペクトルの光信号1b, 1cを入力し、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように直交偏波合成した偏波合成光信号1dを出力する偏波合成手段114と、単一スペクトルの光信号1aを複数に分岐する光分岐器115と、偏波合成光信号1dを複数に分岐する光分岐器116を備える。複数に分岐された単一スペクトルの光信号1aは、それぞれ光搬送波信号として光伝送路201を介して複数の無線基地局300-1～300-3へ送信され、各無線基地局300の光変調器301に入力する。

[0182] 一方、無線基地局300-1～300-3は、送信データで変調された無線信号をアンテナ302で受信し、光変調器301に入力する。光変調器301は、受信した無線信号で光送信器110(A2)から送信された光信号1aを光強度変調し、その光変調信号1g1～1g3を光伝送路202を介して収容局100の各光受信器120(A)-1～120(A)-3へ送信する。

[0183] 光受信器120(A)-1～120(A)-3は、無線基地局300の光送信器301-1～301-3から送信された光変調信号1g1～1g3と、収容局100内の光送信器110(A2)の光分岐器116で分岐された偏波合成光信号1dをそれぞれ入力し、それぞれ送信データ1k1～1k3を再生する構成である。

[0184] 本実施形態の特徴は、図1に示す第1の実施形態の構成において、光送信器110(A2)に光信号1aを分岐する光分岐器115および偏波合成光信号1dを分岐する光分岐器116を備え、複数の無線基地局300-1～300-3と複数の光受信器120(A)-1～120(A)-3の関係に拡張したところにある。1組の無線基地局300と光受信器120(A)の関係、特に光受信器120(A)の構成および無線基地局300から送信された光変調信号1gから送信データ1kを再生する機能は、第1の実施形態と同様である。



[0185] (第4の実施形態)

図18は、本発明の光－無線融合通信システムの第4の実施形態を示す。なお、本実施形態では、収容局100に複数の無線基地局300-1～300-3が接続され、各無線基地局300にそれぞれ無線端末(図では省略)が接続される構成例に基づいて説明する。

[0186] 図において、収容局100は、光送信器110(B2)および複数の光受信器120(B)-1～120(B)-3を備える。光送信器110(B2)は、それぞれ単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ ) 2a, 2b, 2cを出力する単一スペクトル光源111, 112, 113と、単一スペクトルの光信号2b, 2cを入力し、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように直交偏波合成した偏波合成光信号2dを出力する偏波合成手段114と、単一スペクトルの光信号2aを複数の分岐する光分岐器115と、偏波合成光信号2dを複数の分岐する光分岐器116を備える。複数の分岐された偏波合成光信号2dは、それぞれ光搬送波信号として光伝送路201を介して複数の無線基地局300-1～300-3へ送信され、各無線基地局300の光変調器301に入力する。

[0187] 一方、無線基地局300-1～300-3は、送信データで変調された無線信号をアンテナ302で受信し、光変調器301に入力する。光変調器301は、受信した無線信号で光送信器110(B2)から送信された偏波合成光信号2dを光強度変調し、その光変調信号2g1～2g3を光伝送路202を介して収容局100の各光受信器120(B)-1～120(B)-3へ送信する。

[0188] 光受信器120(B)-1～120(B)-3は、無線基地局300の光送信器301から送信された光変調信号2g1～2g3と、収容局100内の光送信器110(B2)の光分岐器115で分岐された光信号2aをそれぞれ入力し、それぞれ送信データ2k1～2k3を再生する構成である。

[0189] 本実施形態の特徴は、図9に示す第2の実施形態の構成において、光送信器110(B2)に光信号2aを分岐する光分岐器115および偏波合成光信号2dを分岐する光分岐器116を備え、複数の無線基地局300-1～300-3と複数の光受信器120(B)-1～120(B)-3の関係に拡張したところにある。1組の無線基地局300と光受信器120(B)の関係、特に光受信器120(B)の構成および無線基地局300から送信された光

変調信号2gから送信データ2kを再生する機能は、第2の実施形態と同様である。

[0190] (第5の実施形態)

図19は、本発明の光－無線融合通信システムの第5の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図17に示す第3の実施形態の構成において、単一スペクトルの光信号1aを分岐し、光搬送波信号として複数の無線基地局300-1～300-3に送信する光分岐器115に代えて、分岐する各光信号1aの光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器117を用いたところにある。本実施形態の光送信器110(A3)の他の構成は、第3の実施形態における光送信器110(A2)と同じである。

[0191] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(A)-1～120(A)-3で受信する光変調信号1g1～1g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器117で各無線基地局300-1～300-3へ送信する光搬送波信号(光信号1a)の光強度を調整する。これにより、図22に示すように、無線基地局300-1から送信される光変調信号1gの光強度( $f_{CI}$ ,  $f_{CI} \pm f_{RF}$  成分)、および光受信器120(A)の光合波器121で合波された光信号1hの光強度( $f_{CI}$ ,  $f_{CI} \pm f_{RF}$  成分)がそれぞれ調整される。そして、光受信器120(A)における中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号1iの信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0192] (第6の実施形態)

図20は、本発明の光－無線融合通信システムの第6の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図17に示す第3の実施形態の構成において、偏波合成光信号1dを複数の光受信器120(A)-1～120(A)-3に出力する光分岐器116に代えて、分岐する各偏波合成光信号1dの光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器118を用いたところにある。本実施形態の光送信器110(A4)の他の構成は、第3の実施形態における光送信器110(A2)と同じである。

[0193] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(A)-1～120(A)-3で受信す

る光変調信号1g1～1g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器118で各受信器120(A)-1～120(A)-3に出力する偏波合成光信号1dの光強度を調整する。これにより、図22に示すように、光受信器120(A)の光合波器121で合波された光信号1hの光強度( $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ 成分)が調整される。そして、光受信器120(A)における中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号1iの信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0194] (第7の実施形態)

図21は、本発明の光－無線融合通信システムの第7の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図17に示す第3の実施形態の構成において、第5の実施形態の出力制御光分岐器117と、第6の実施形態の出力制御光分岐器118を備えるところにある。本実施形態の光送信器110(A5)の他の構成は、第3の実施形態における光送信器110(A2)と同じである。

[0195] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(A)-1～120(A)-3で受信する光変調信号1g1～1g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器117で各無線基地局300-1～300-3へ送信する光搬送波信号(光信号1a)の光強度を調整する。これにより、図22に示すように、無線基地局300から送信される光変調信号1gの光強度( $f_{c1}$ ,  $f_{c1} \pm f_{RF}$ 成分)、および光受信器120(A)の光合波器121で合波された光信号1hの光強度( $f_{c1}$ ,  $f_{c1} \pm f_{RF}$ 成分)がそれぞれ調整される。さらに、出力制御光分岐器118で各受信器120(A)-1～120(A)-3に出力する偏波合成光信号1dの光強度を調整する。これにより、図22に示すように、光受信器120(A)の光合波器121で合波された光信号1hの光強度( $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ 成分)が調整される。そして、光受信器120(A)における中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0196] (第8の実施形態)

図23は、本発明の光－無線融合通信システムの第8の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図18に示す第4の実施形態の構成において、偏波合成光信号2dを

分岐し、光搬送波信号として複数の無線基地局300-1～300-3に送信する光分岐器116に代えて、分岐する各偏波合成光信号2dの光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器118を用いたところにある。本実施形態の光送信器110(B3)の他の構成は、第4の実施形態における光送信器110(B2)と同じである。

[0197] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(B)-1～120(B)-3で受信する光変調信号2g1～2g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器118で各無線基地局300-1～300-3へ送信する光搬送波信号(偏波合成光信号2d)の光強度を調整する。これにより、図26に示すように、無線基地局300から送信される光変調信号2gの光強度( $f_{C2}$ ,  $f_{C2} \pm f_{RF}$ ,  $f_{C3}$ ,  $f_{C3} \pm f_{RF}$  成分)、および光受信器120(A)の光合波器121で合波された光信号2hの光強度( $f_{C2}$ ,  $f_{C2} \pm f_{RF}$ ,  $f_{C3}$ ,  $f_{C3} \pm f_{RF}$  成分)がそれぞれ調整される。そして、光受信器120(B)における中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号2iの信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0198] (第9の実施形態)

図24は、本発明の光ー無線融合通信システムの第9の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図18に示す第4の実施形態の構成において、単一スペクトルの光信号2aを複数の光受信器120(B)-1～120(B)-3に出力する光分岐器115に代えて、分岐する各光信号2aの光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器117を用いたところにある。本実施形態の光送信器110(B4)の他の構成は、第4の実施形態における光送信器110(B2)と同じである。

[0199] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(B)-1～120(B)-3で受信する光変調信号2g1～2g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器117で各受信器120(A)-1～120(A)-3に出力する光信号2aの光強度を調整する。これにより、図26に示すように、光受信器120(B)の光合波器

121で合波された光信号2hの光強度( $f_{c1}$ 成分)が調整される。そして、光受信器120(B)における中間周波数 $f_{if1}$ ,  $f_{if2}$ の電気信号2iの信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0200] (第10の実施形態)

図25は、本発明の光―無線融合通信システムの第10の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図18に示す第4の実施形態の構成において、第8の実施形態の出力制御光分岐器118と、第9の実施形態の出力制御光分岐器117を備えるところにある。本実施形態の光送信器110(B5)の他の構成は、第4の実施形態における光送信器110(B2)と同じである。

[0201] 本実施形態では、収容局100と各無線基地局300-1～300-3との間の光伝送路長に応じた光損失や、各無線基地局300-1～300-3と無線端末との間の無線伝送距離に応じた無線信号強度差により、各光受信器120(B)-1～120(B)-3で受信する光変調信号2g1～2g3に光強度差が生じる場合を想定している。この状況に応じて出力制御光分岐器118で各無線基地局300-1～300-3へ送信する光搬送波信号(偏波合成光信号2d)の光強度を調整する。これにより、図26に示すように、無線基地局300から送信される光変調信号2gの光強度( $f_{c2}$ ,  $f_{c2} \pm f_{rf}$ ,  $f_{c3}$ ,  $f_{c3} \pm f_{rf}$ 成分)、および光受信器120(B)の光合波器121で合波された光信号2hの光強度( $f_{c2}$ ,  $f_{c2} \pm f_{rf}$ ,  $f_{c3}$ ,  $f_{c3} \pm f_{rf}$ 成分)がそれぞれ調整される。さらに、出力制御光分岐器117で各受信器120(A)-1～120(A)-3に出力する光信号2aの光強度を調整する。これにより、図26に示すように、光受信器120(B)の光合波器121で合波された光信号2hの光強度( $f_{c1}$ 成分)が調整される。そして、光受信器120(B)における中間周波数 $f_{if1}$ ,  $f_{if2}$ の電気信号の信号強度が調整され、後述する良好な受信動作を実現することができる。

[0202] ここで、第5～第10の実施形態における制御形態について説明する。

第1の制御形態は、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{if1}$ ,  $f_{if2}$ の電気信号の信号強度を一定になるように、各無線基地局に送信する光搬送波信号および/または各光受信器に出力する光信号の光強度を制御する。

[0203] 第2の制御形態は、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{if1}$ ,  $f_{if2}$ の電気

信号の信号強度が、全ての光受信器において均一になるように、各無線基地局に送信する光搬送波信号および／または各光受信器に出力する光信号の光強度を制御する。

- [0204] 第3の制御形態は、光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号の信号対雑音比が、全ての光受信器において均一になるように、各無線基地局に送信する光搬送波信号および／または各光受信器に出力する光信号の光強度を制御する。

#### 産業上の利用可能性

- [0205] 本発明は、無線基地局と無線端末との間で無線回線を介してミリ波のような高周波無線信号を伝送し、その無線信号を受信した無線基地局から収容局に光伝送路を介して光信号伝送を行う光－無線融合通信システムおよびその収容局として用いられる。

## 請求の範囲

- [1] 収容局に光送信器および光受信器を備え、
- 前記光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、
- 前記無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で前記光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して前記収容局に送信し、
- 前記光受信器は前記光変調信号を受信し、検波して前記送信データを再生する光-無線融合通信システムにおいて、
- 前記光送信器は、
- 第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C1}$ )を出力する第1の単一スペクトル光源と、
- 第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C2}$ )を出力する第2の単一スペクトル光源と、
- 第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C3}$ )を出力する第3の単一スペクトル光源と、
- 前記第2の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度と、前記第3の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度について、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように調整し、2波を直交偏波合成して偏波合成光信号として出力する偏波合成手段とを備え、
- 前記第1, 第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{C1}$ ,  $f_{C2}$ ,  $f_{C3}$ は、前記無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ に対して、
- $$\begin{aligned} |f_{C1} - f_{C2}| &= f_{RF} \pm f_{IF1} \\ |f_{C1} - f_{C3}| &= f_{RF} \pm f_{IF2} \end{aligned}$$
- となるように制御され、
- 前記第1の単一スペクトルの光信号を前記光搬送波信号として前記無線基地局へ送信し、前記偏波合成光信号を前記光受信器へ出力する構成とし、
- 前記光受信器は、
- 前記無線基地局から送信された前記光変調信号と、前記光送信器から出力された

前記偏波合成光信号とを合波する光合波器と、

前記光合波器で合波された光信号を受光し、前記中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を出力する受光器と、

前記受光器から出力された前記中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を検波する電気検波器と、

前記電気検波器の出力信号を低域濾過し、前記送信データを出力する低域濾過フィルタとを備えた

ことを特徴とする光—無線融合通信システム。

[2] 収容局に光送信器および光受信器を備え、

前記光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、

前記無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で前記光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して前記収容局に送信し、

前記光受信器は前記光変調信号を受信し、検波して前記送信データを再生する光—無線融合通信システムにおいて、

前記光送信器は、

第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c1}$ )を出力する第1の単一スペクトル光源と、

第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c2}$ )を出力する第2の単一スペクトル光源と、

第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{c3}$ )を出力する第3の単一スペクトル光源と、

前記第2の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度と、前記第3の単一スペクトルの光信号の偏波方向および光強度について、互いの偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように調整し、2波を直交偏波合成して偏波合成光信号として出力する偏波合成手段とを備え、

前記第1, 第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$ ,  $f_{c3}$ は、前記無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ に対して、



$$|f_{C1} - f_{C2}| = f_{RF} \pm f_{IF1}$$

$$|f_{C1} - f_{C3}| = f_{RF} \pm f_{IF2}$$

となるように制御され、

前記偏波合成光信号を前記光搬送波信号として前記無線基地局へ送信し、前記第1の単一スペクトルの光信号を前記光受信器へ出力する構成とし、

前記光受信器は、

前記無線基地局から送信された前記光変調信号と、前記光送信器から出力された前記第1の単一スペクトルの光信号とを合波する光合波器と、

前記光合波器で合波された光信号を受光し、前記中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を出力する受光器と、

前記受光器から出力された前記中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を検波する電気検波器と、

前記電気検波器の出力信号を低域濾過し、前記送信データを出力する低域濾過フィルタとを備えた

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

[3] 請求項1または請求項2に記載の光－無線融合通信システムにおいて、

前記光受信器は、

前記電気検波器および前記低域濾過フィルタに代えて、

前記受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号を分離するフィルタと、

前記フィルタから出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波する第1の電気検波器および第2の電気検波器と、

前記第1の電気検波器の出力信号と前記第2の電気検波器の出力信号とを加算し、前記送信データを出力する加算器とを備えた

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

[4] 請求項1または請求項2に記載の光－無線融合通信システムにおいて、

前記光受信器は、

前記電気検波器および前記低域濾過フィルタに代えて、

前記受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号を分離するフィルタと、

前記フィルタから出力される中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波する第1の電気検波器および第2の電気検波器と、

前記第1の電気検波器の出力信号と前記第2の電気検波器の出力信号の位相を揃えて加算し、前記送信データを出力する位相調整加算器とを備えた

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

[5] 請求項1に記載の光－無線融合通信システムにおいて、

複数の無線基地局と、前記収容局に前記複数の無線基地局から送信された光変調信号をそれぞれ受信する複数の光受信器を備え、

前記光送信器は、

前記第1の単一スペクトルの光信号を複数の分岐し、前記光搬送波信号として前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する第1の光分岐器と、

前記偏波合成光信号を複数の分岐し、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する第2の光分岐器とを備えた

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

[6] 請求項2に記載の光－無線融合通信システムにおいて、

複数の無線基地局と、前記収容局に前記複数の無線基地局から送信された光変調信号をそれぞれ受信する複数の光受信器を備え、

前記光送信器は、

前記偏波合成光信号を複数の分岐し、前記光搬送波信号として前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する第1の光分岐器と、

前記第1の単一スペクトルの光信号を複数の分岐し、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する第2の光分岐器とを備えた

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

[7] 請求項5に記載の光－無線融合通信システムにおいて、

前記第1の光分岐器に代えて、前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する前記光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

- [8] 請求項5に記載の光－無線融合通信システムにおいて、  
前記第2の光分岐器に代えて、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する前記偏波合成光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる  
ことを特徴とする光－無線融合通信システム。
- [9] 請求項5に記載の光－無線融合通信システムにおいて、  
前記第1の光分岐器に代えて、前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する前記光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用い、  
前記第2の光分岐器に代えて、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する前記偏波合成光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる  
ことを特徴とする光－無線融合通信システム。
- [10] 請求項6に記載の光－無線融合通信システムにおいて、  
前記第1の光分岐器に代えて、前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する前記光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる  
ことを特徴とする光－無線融合通信システム。
- [11] 請求項6に記載の光－無線融合通信システムにおいて、  
前記第2の光分岐器に代えて、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する前記第1の単一スペクトルの光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる  
ことを特徴とする光－無線融合通信システム。
- [12] 請求項6に記載の光－無線融合通信システムにおいて、  
前記第1の光分岐器に代えて、前記複数の無線基地局へそれぞれ送信する前記光搬送波信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用い、  
前記第2の光分岐器に代えて、前記複数の光受信器へそれぞれ出力する前記第1の単一スペクトルの光信号の光強度を個々に設定可能な出力制御光分岐器を用いる  
ことを特徴とする光－無線融合通信システム。
- [13] 請求項7～請求項12のいずれかに記載の光－無線融合通信システムにおいて、

前記光送信器の前記出力制御光分岐器は、分岐出力する各光信号の光強度について、前記光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度が、前記無線基地局から受信した光信号の光強度に依らずに一定になるように設定する構成である

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

- [14] 請求項7～請求項12のいずれかに記載の光－無線融合通信システムにおいて、前記光送信器の前記出力制御光分岐器は、分岐出力する各光信号の光強度について、前記光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の信号強度が、全ての光受信器において均一になるように設定する構成である

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

- [15] 請求項7～請求項12のいずれかに記載の光－無線融合通信システムにおいて、前記光送信器の前記出力制御光分岐器は、分岐出力する各光信号の光強度について、前記光受信器の受光器から出力される中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号の信号対雑音比が、全ての光受信器において均一になるよう設定する構成である

ことを特徴とする光－無線融合通信システム。

- [16] 収容局に光送信器および光受信器を備え、  
前記光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、  
前記無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で前記光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して前記収容局に送信し、

前記光受信器は前記光変調信号を受信し、検波して前記送信データを再生する光－無線融合通信方法において、

前記光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C1}$ )を前記光搬送波信号として前記無線基地局へ送信し、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C2}$ )と第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C3}$ )の偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように2波を直交偏波合成した偏波合成光信号を前記光受信器へ出力し、前記第1、第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{C1}$ 、 $f_{C2}$ 、 $f_{C3}$ は、前記無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ に対して、

$$|f_{C1} - f_{C2}| = f_{RF} \pm f_{IF1}$$

$$|f_{C1} - f_{C3}| = f_{RF} \pm f_{IF2}$$

となるように制御し、

前記光受信器は、前記無線基地局から送信された前記光変調信号と前記光送信器から出力された前記偏波合成光信号とを合波し、合波された光信号を受光して得られた中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を検波し、その出力信号を低域濾過して前記送信データを生成する

ことを特徴とする光－無線融合通信方法。

[17] 収容局に光送信器および光受信器を備え、

前記光送信器は光伝送路を介して無線基地局に光搬送波信号を送信し、

前記無線基地局は送信データで変調された無線信号(周波数 $f_{RF}$ )を受信し、受信した無線信号で前記光搬送波信号を光変調し、その光変調信号を光伝送路を介して前記収容局に送信し、

前記光受信器は前記光変調信号を受信し、検波して前記送信データを再生する光－無線融合通信方法において、

前記光送信器は、第1の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C1}$ )を前記光受信器へ出力し、第2の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C2}$ )と第3の単一スペクトルの光信号(中心周波数 $f_{C3}$ )の偏波方向が直交しかつ等しい光強度になるように2波を直交偏波合成して偏波合成光信号を生成し、前記光搬送波信号として前記無線基地局へ送信し、前記第1, 第2および第3の単一スペクトルの光信号の中心周波数 $f_{C1}$ ,  $f_{C2}$ ,  $f_{C3}$ は、前記無線信号の周波数 $f_{RF}$ 、所定の中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ に対して、

$$|f_{C1} - f_{C2}| = f_{RF} \pm f_{IF1}$$

$$|f_{C1} - f_{C3}| = f_{RF} \pm f_{IF2}$$

となるように制御し、

前記光受信器は、前記無線基地局から送信された前記光変調信号と前記光送信器から出力された前記光信号とを合波し、合波された光信号を受光して得られた中間周波数 $f_{IF1}$ ,  $f_{IF2}$ の電気信号を検波し、その出力信号を低域濾過して前記送信データを生成する

ことを特徴とする光－無線融合通信方法。

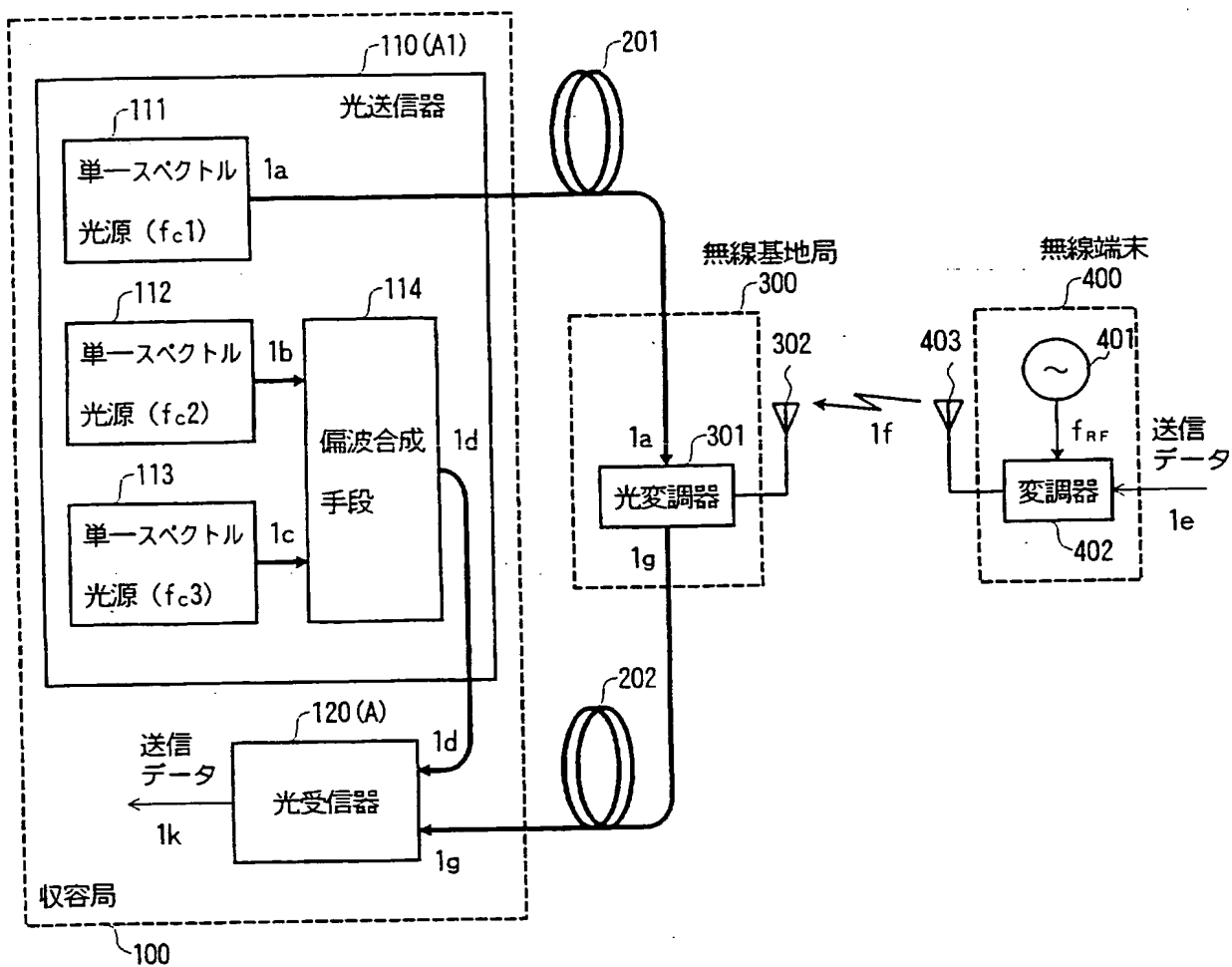
- [18] 請求項16または請求項17に記載の光－無線融合通信方法において、  
前記光受信器は、前記中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を分離し、前記中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および前記中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波し、各出力信号を加算して前記送信データを生成する

ことを特徴とする光－無線融合通信方法。

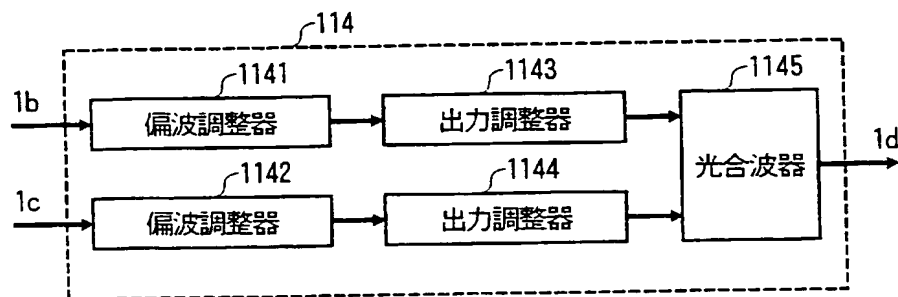
- [19] 請求項16または請求項17に記載の光－無線融合通信方法において、  
前記光受信器は、前記中間周波数 $f_{IF1}$ 、 $f_{IF2}$ の電気信号を分離し、前記中間周波数 $f_{IF1}$ の電気信号および前記中間周波数 $f_{IF2}$ の電気信号をそれぞれ検波し、各出力信号の位相を揃えてから加算して前記送信データを生成する

ことを特徴とする光－無線融合通信方法。

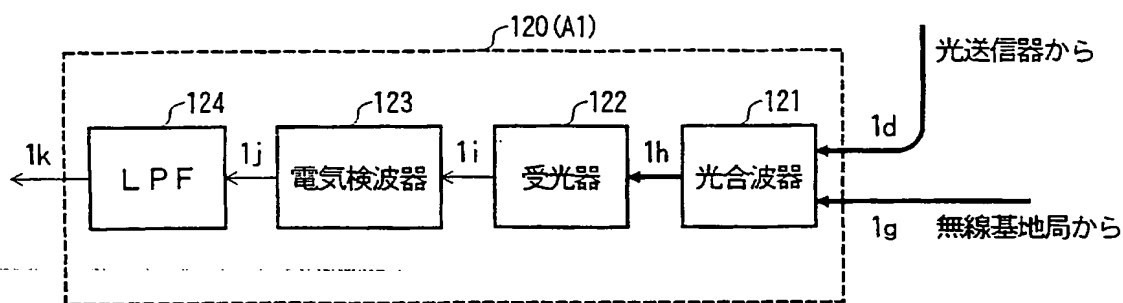
[図1]



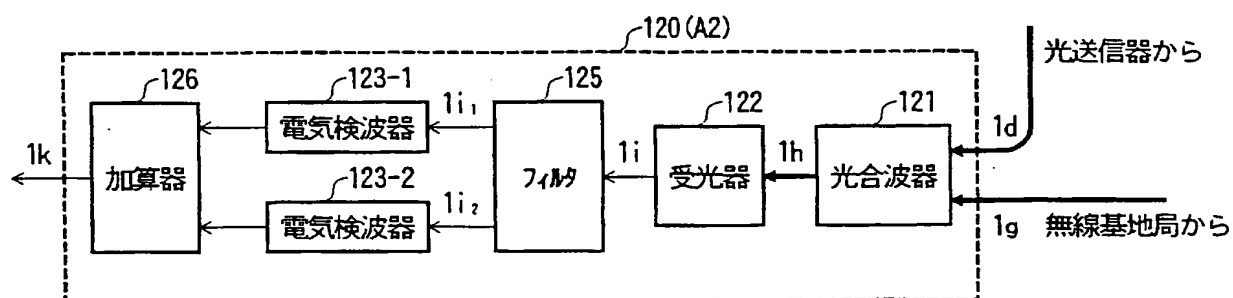
[図2]



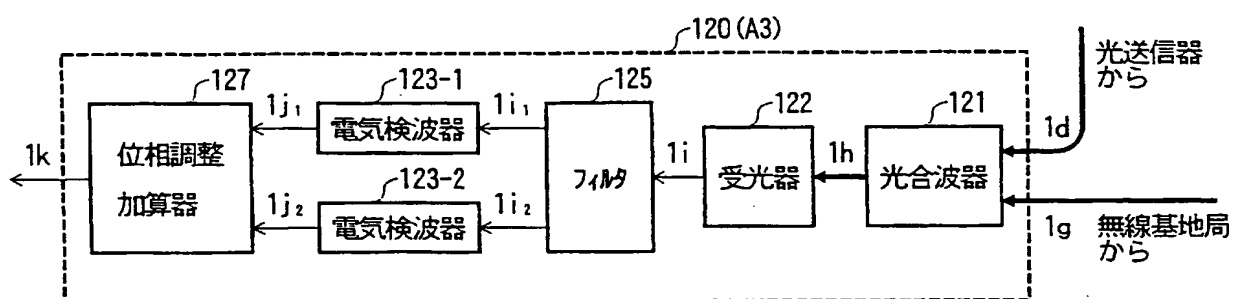
[図3]



[図4]

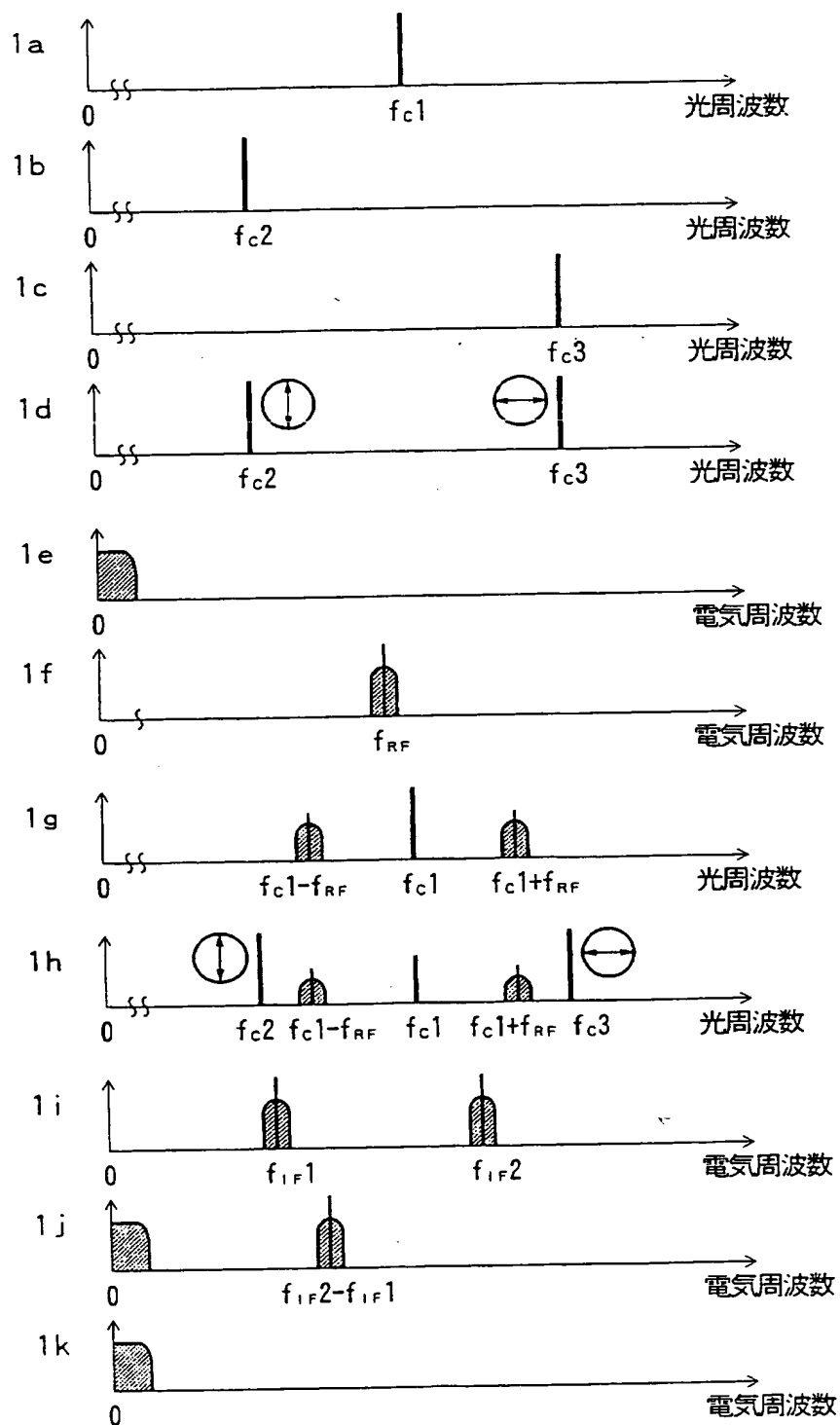


[図5]

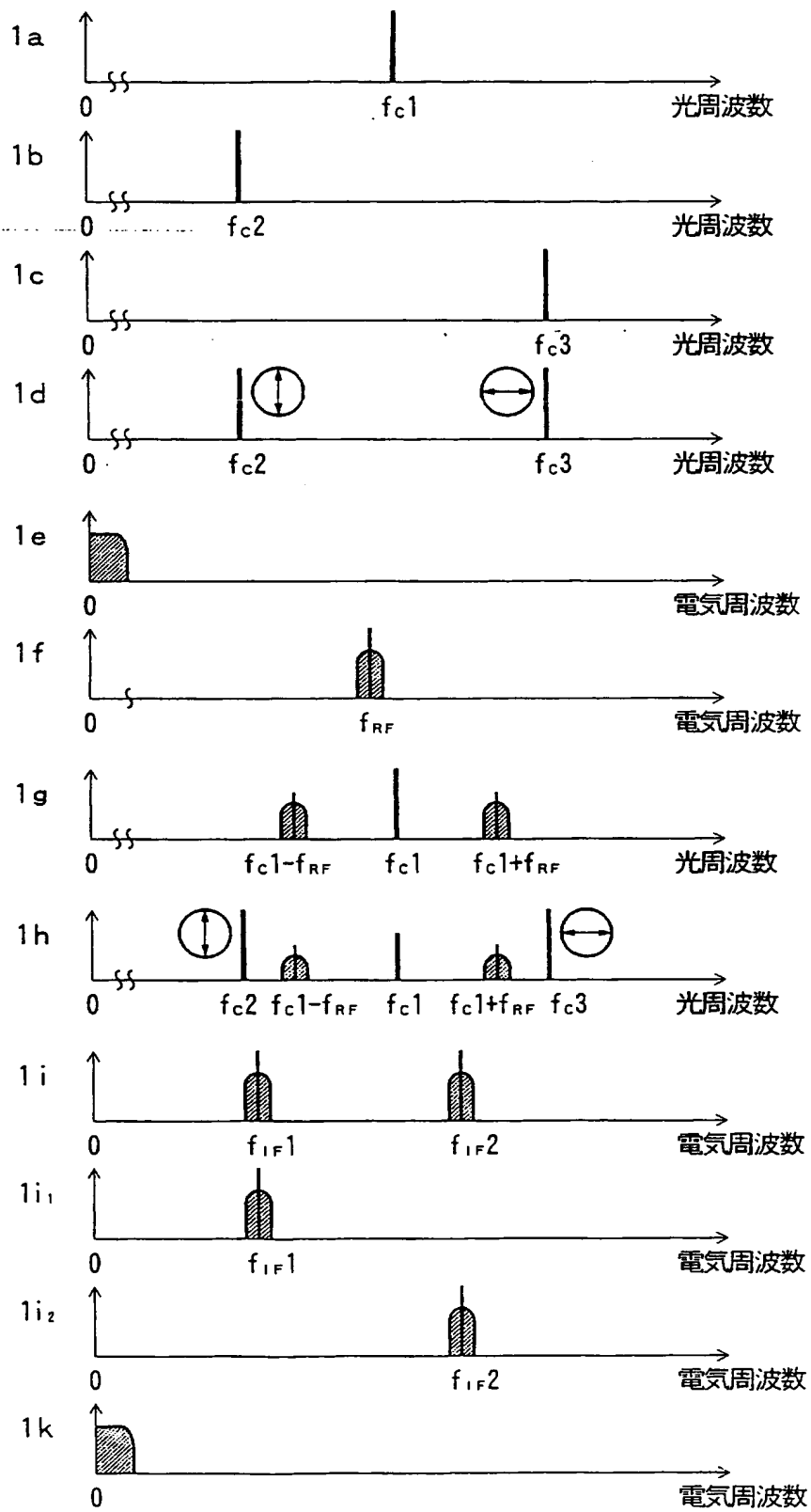




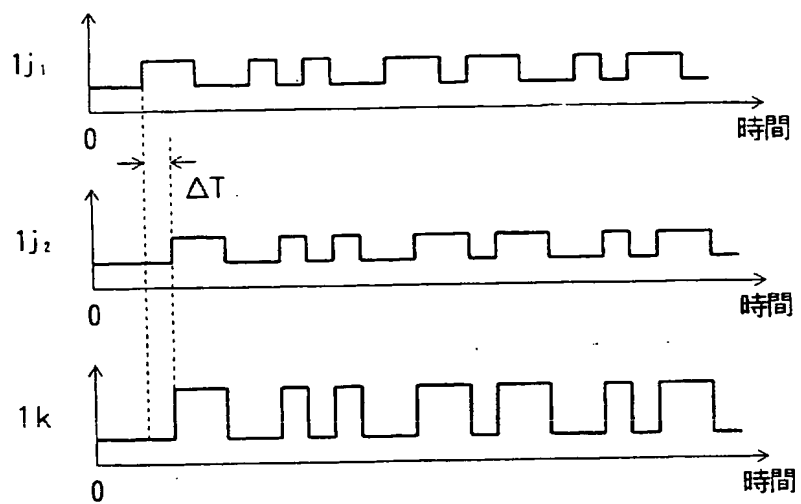
[図6]



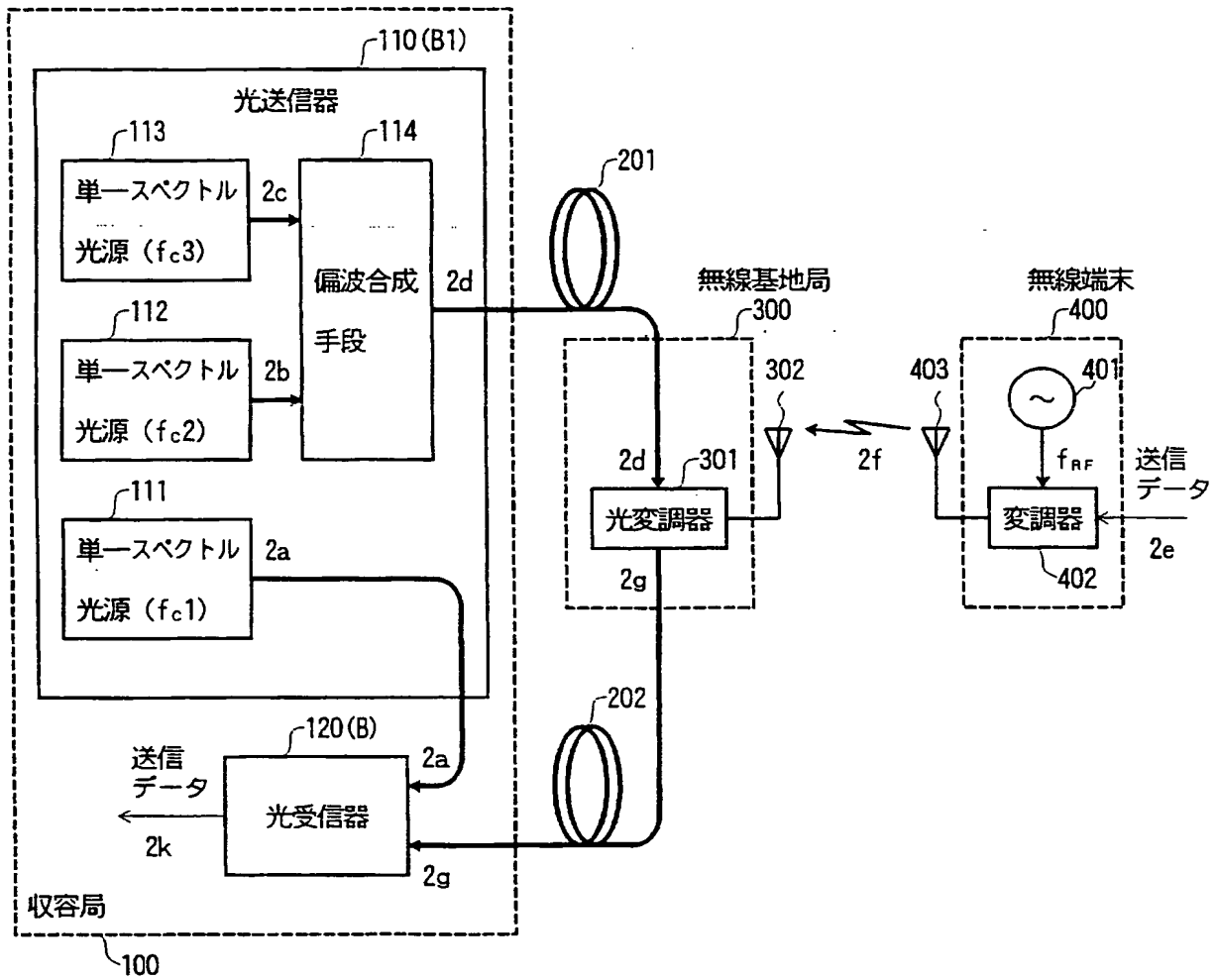
[図7]



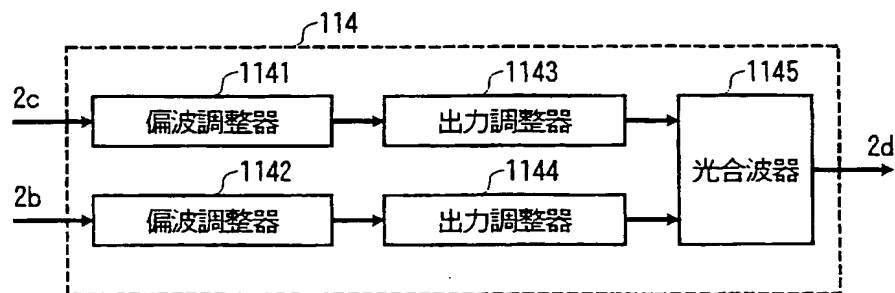
[図8]



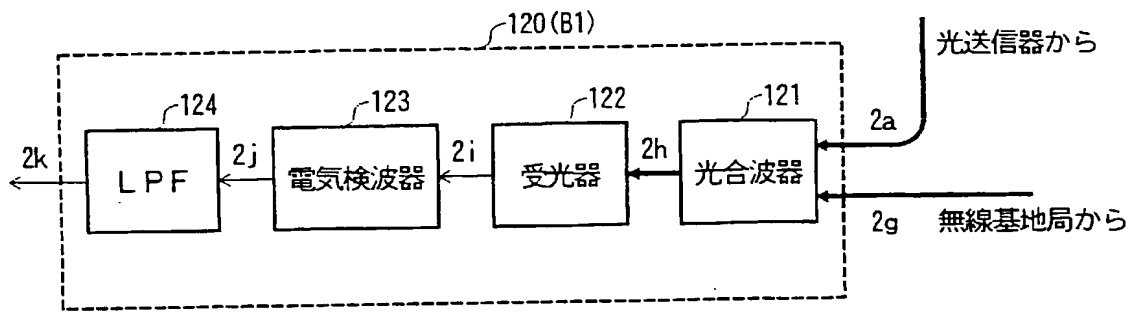
[図9]



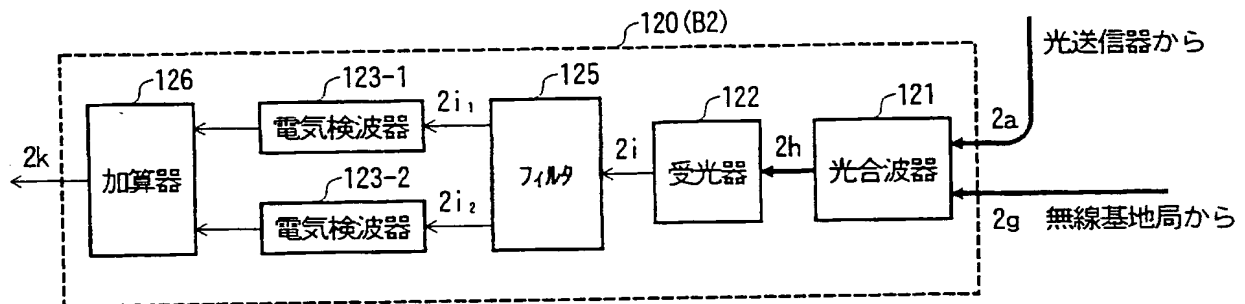
[図10]



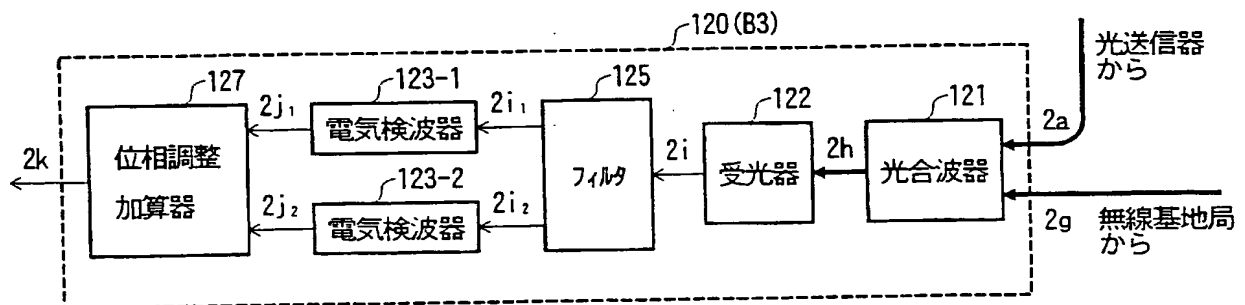
[図11]



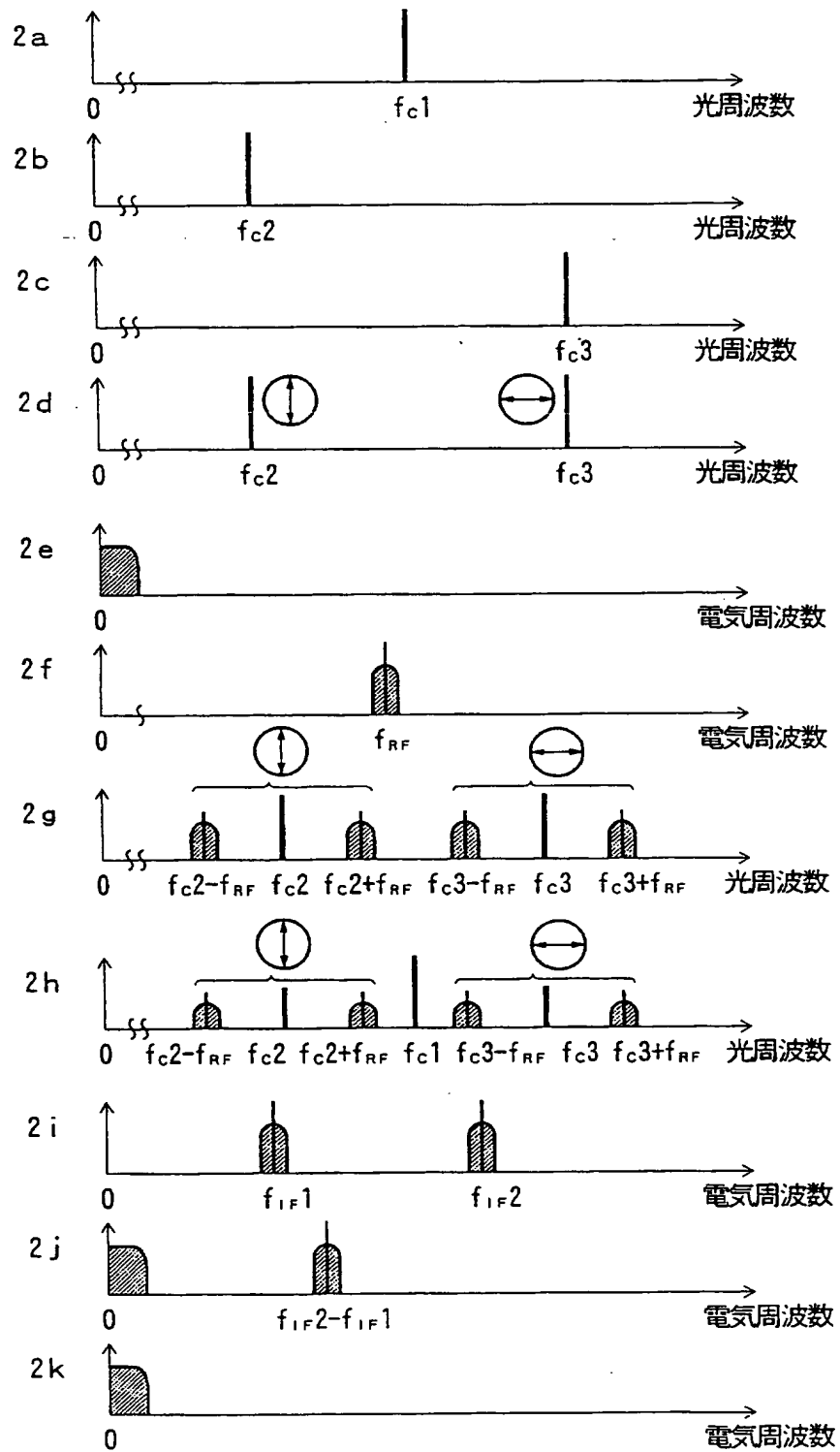
[図12]



[図13]

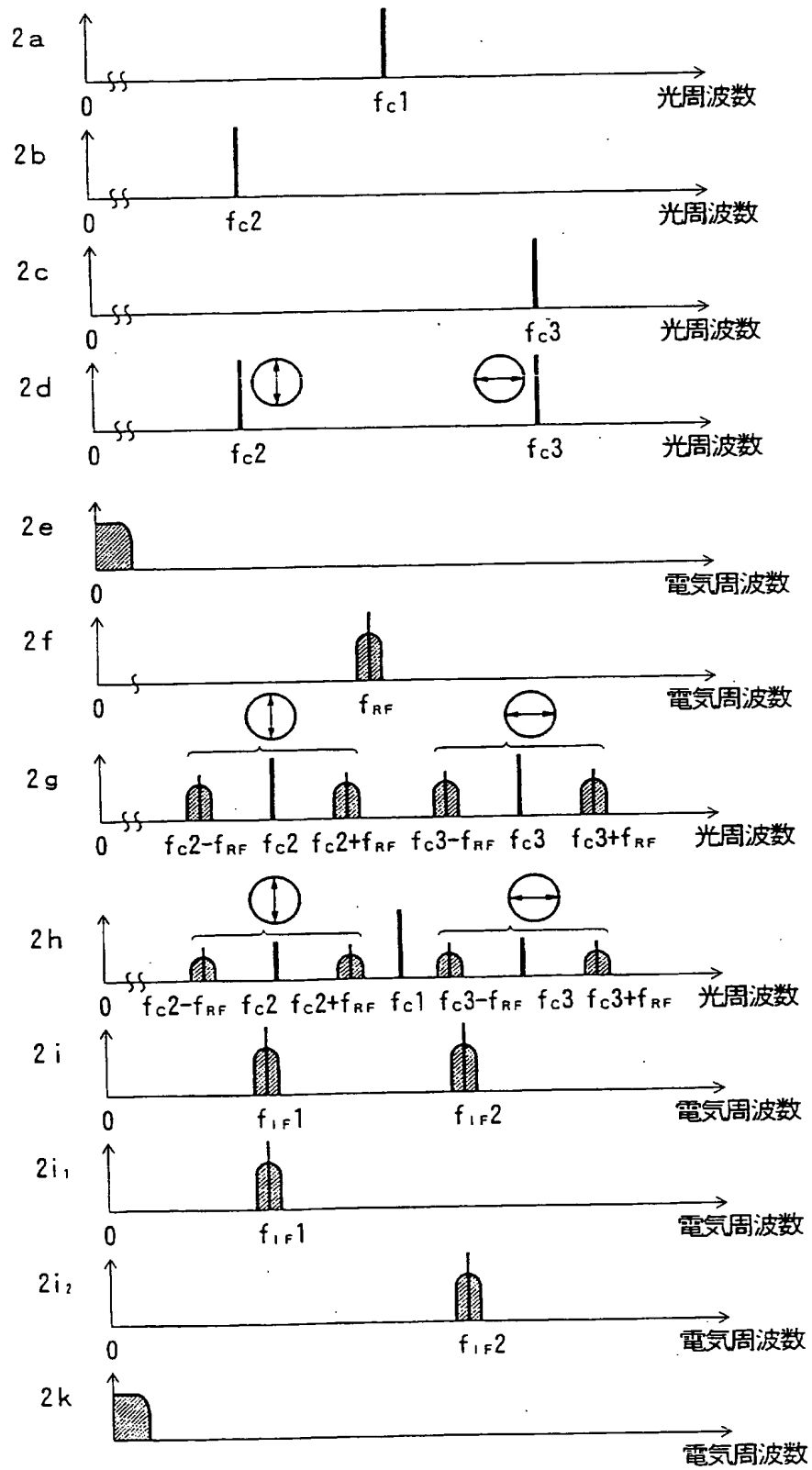


[図14]

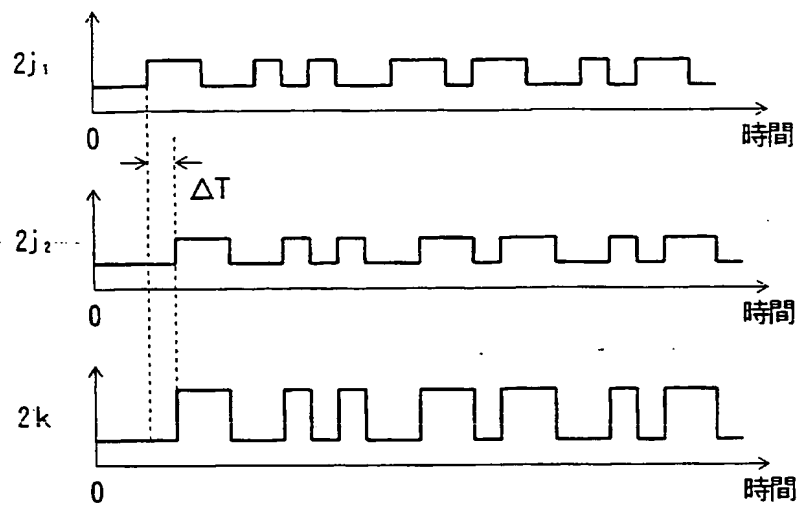


9/22

[図15]

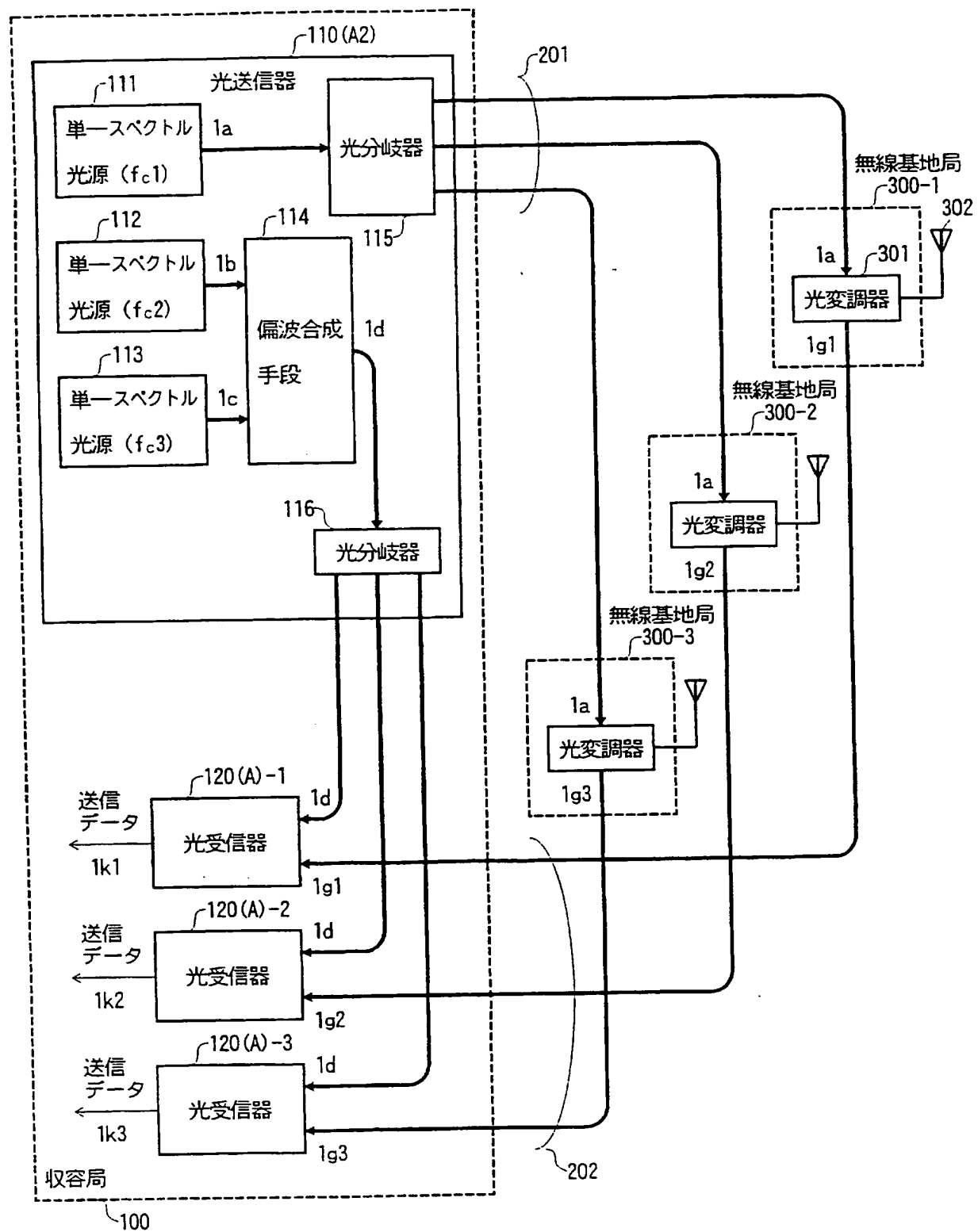


[図16]

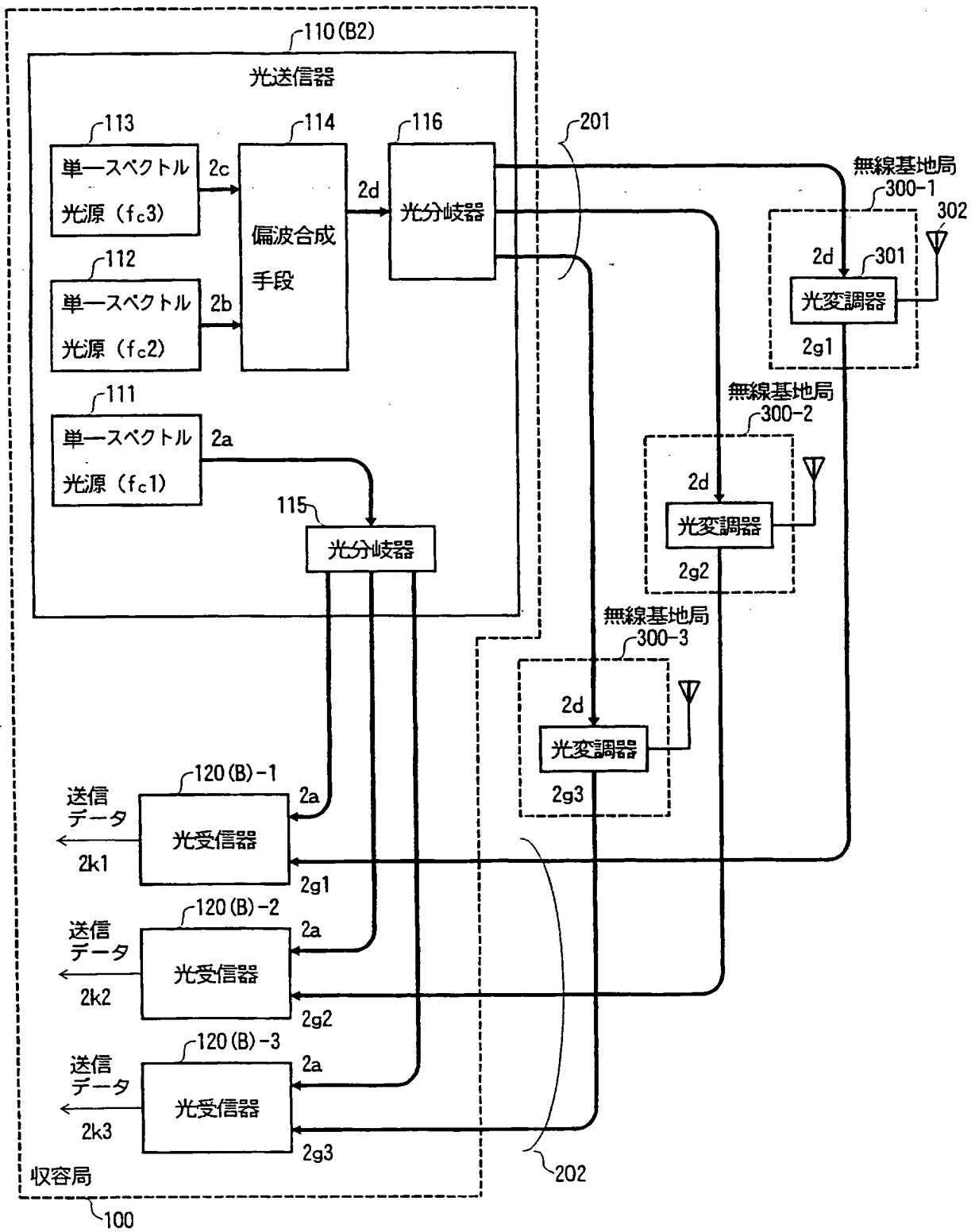




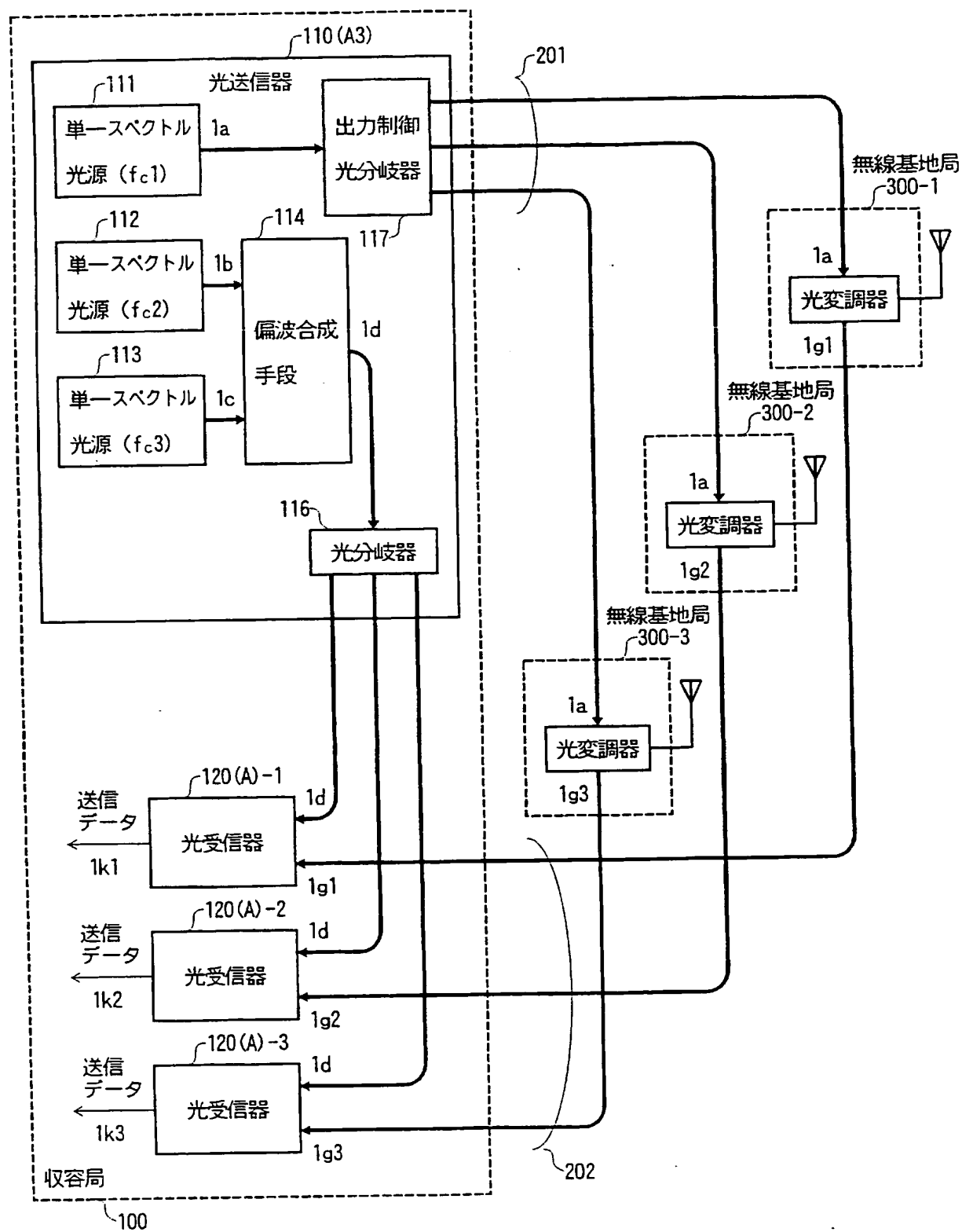
[図17]



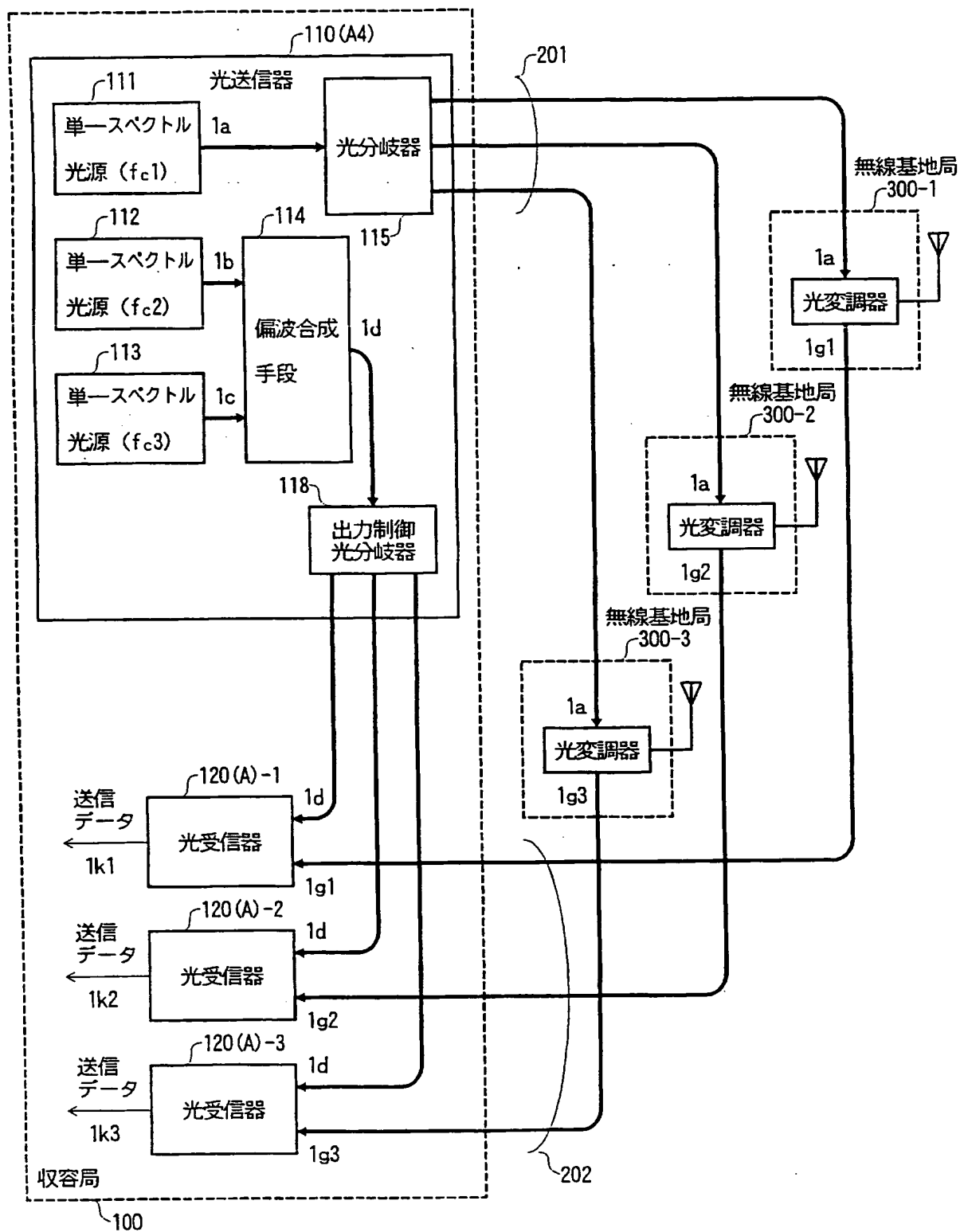
[図18]



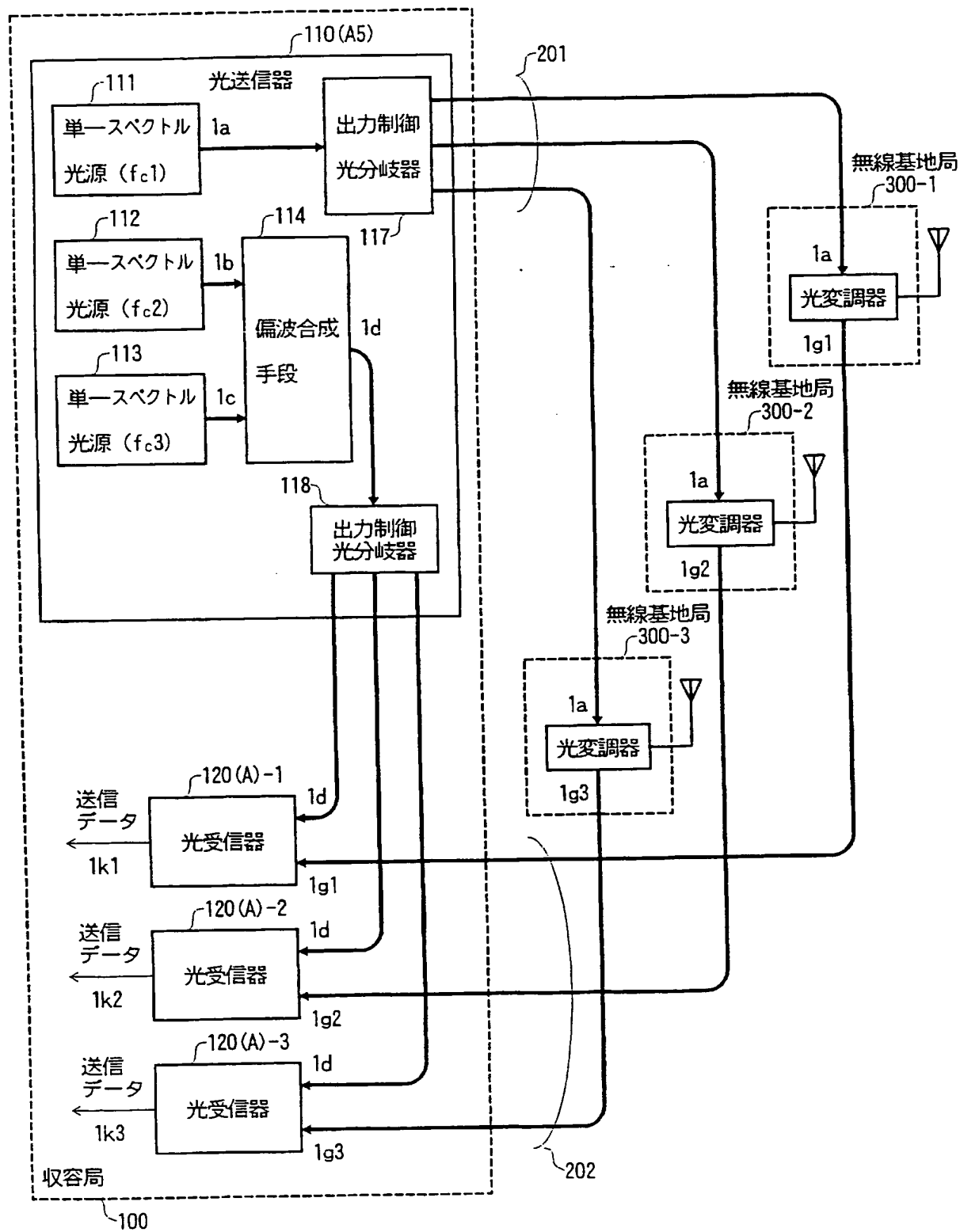
[図19]



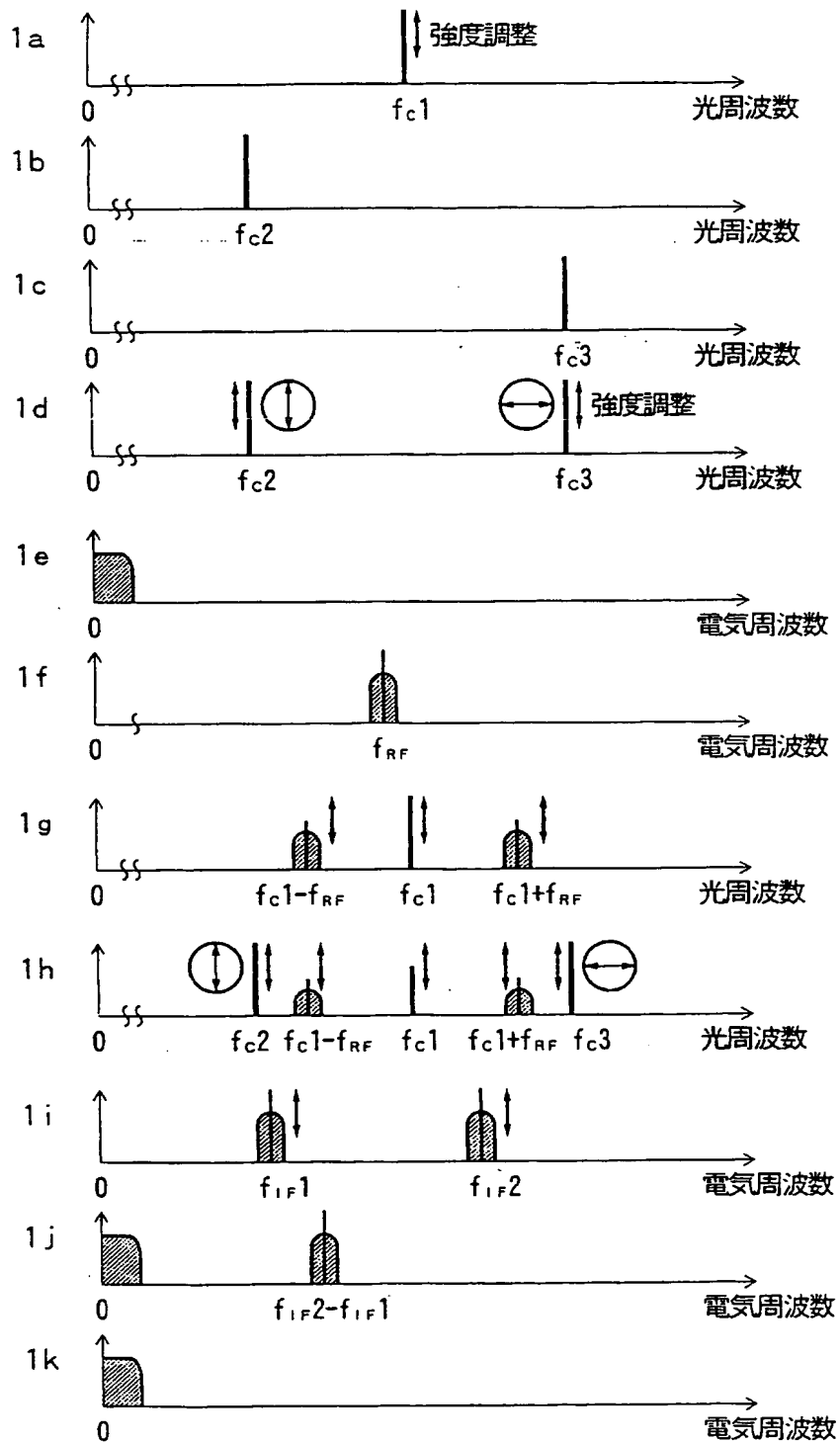
[図20]



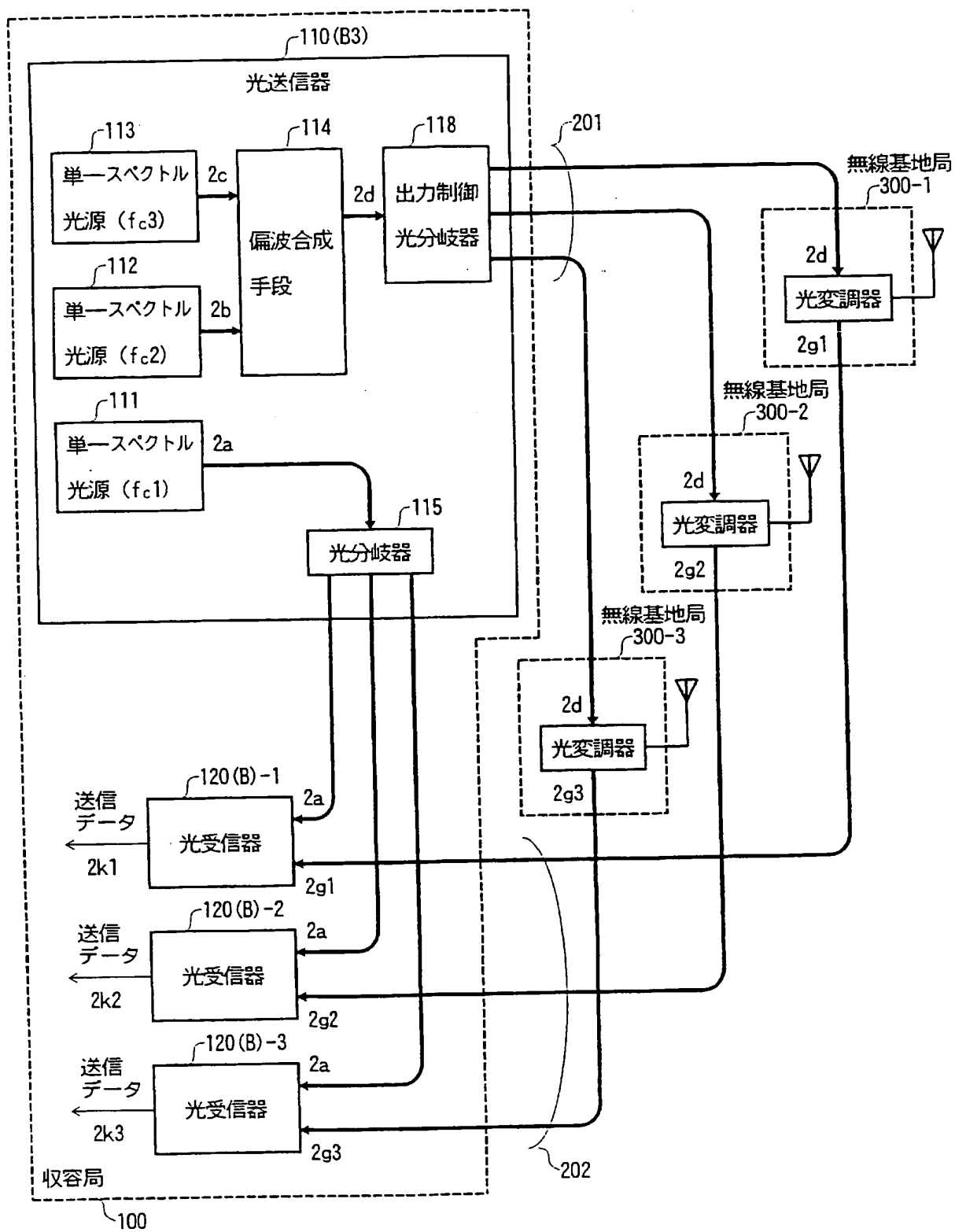
[図21]



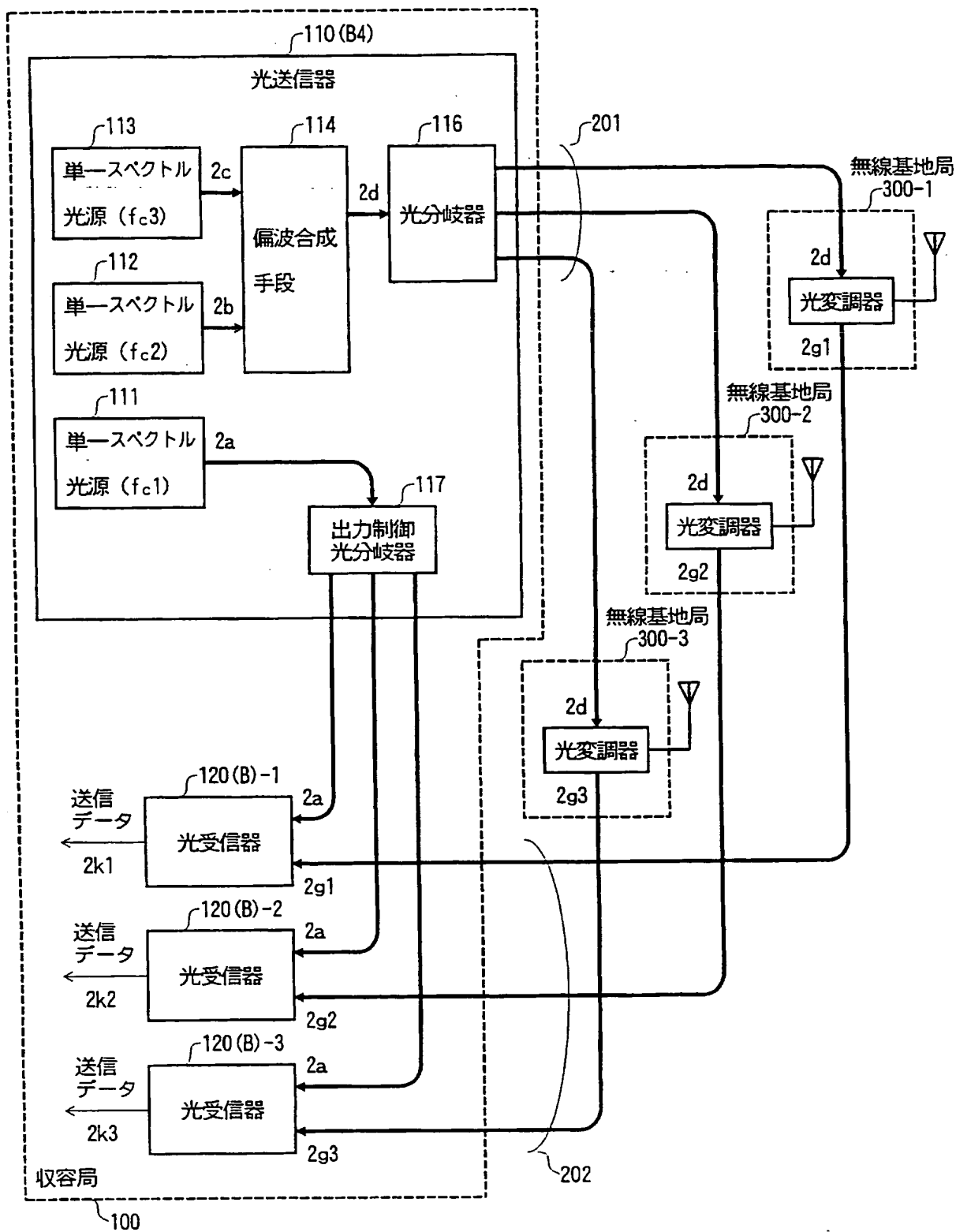
[図22]



[図23]

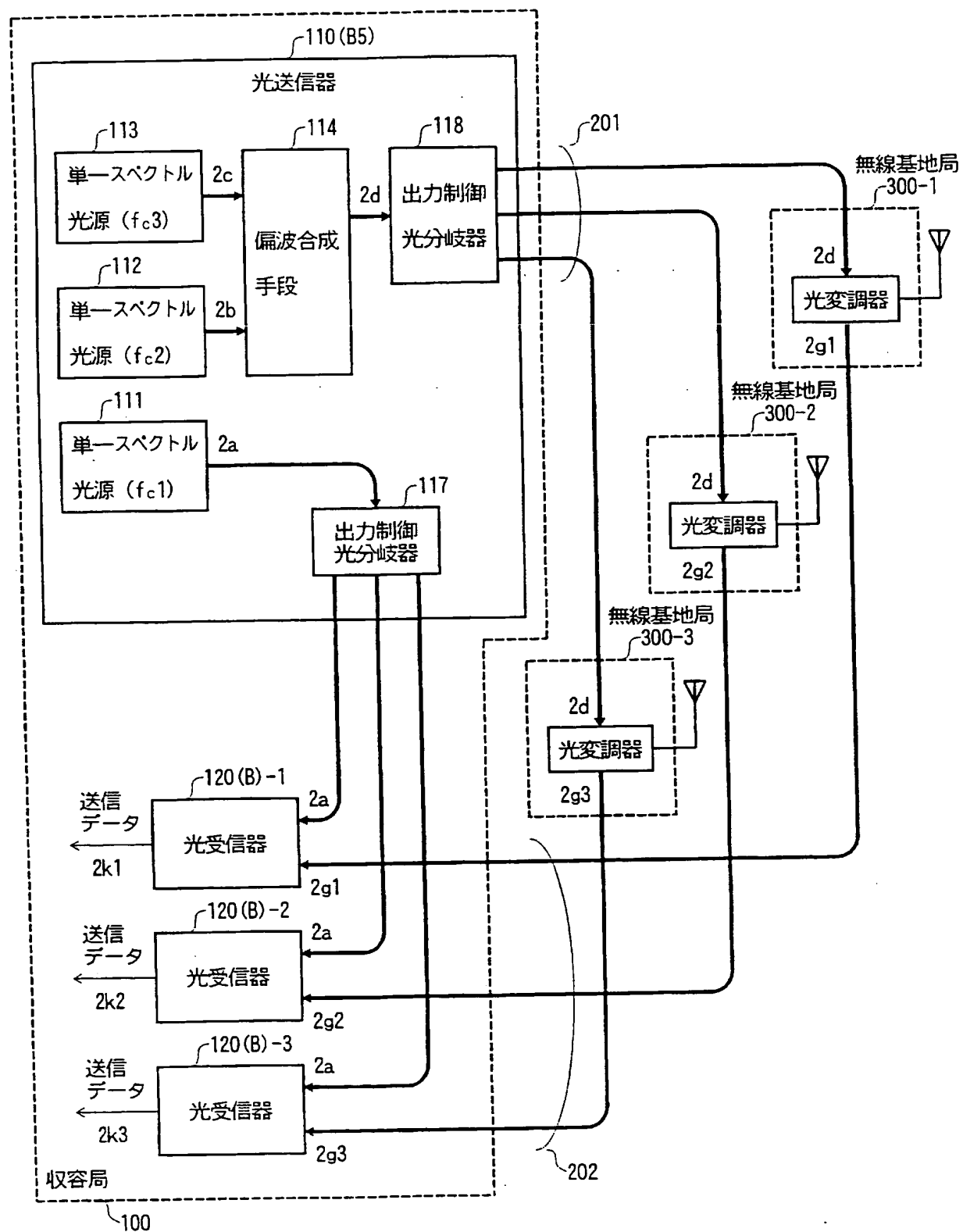


[図24]

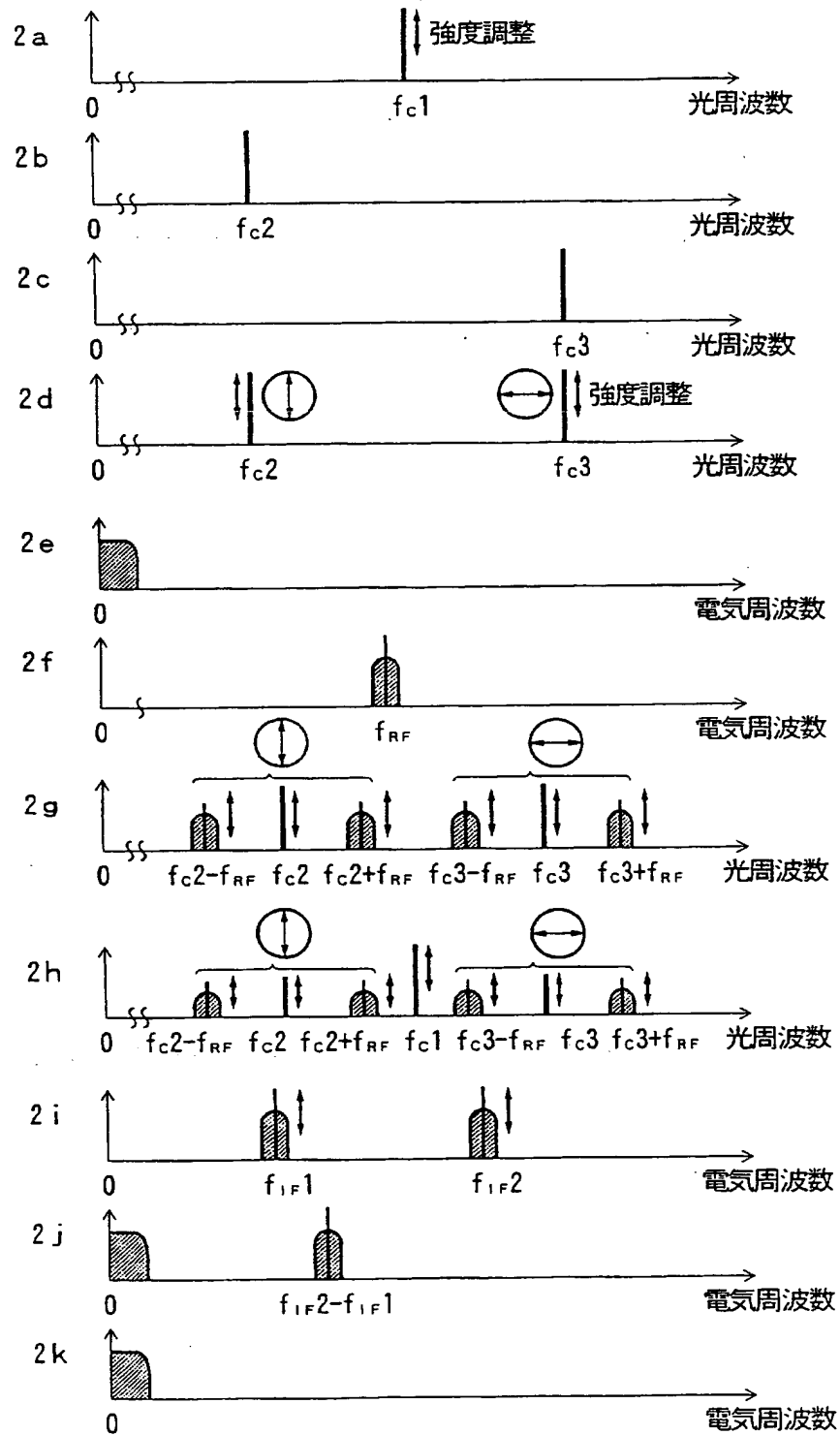




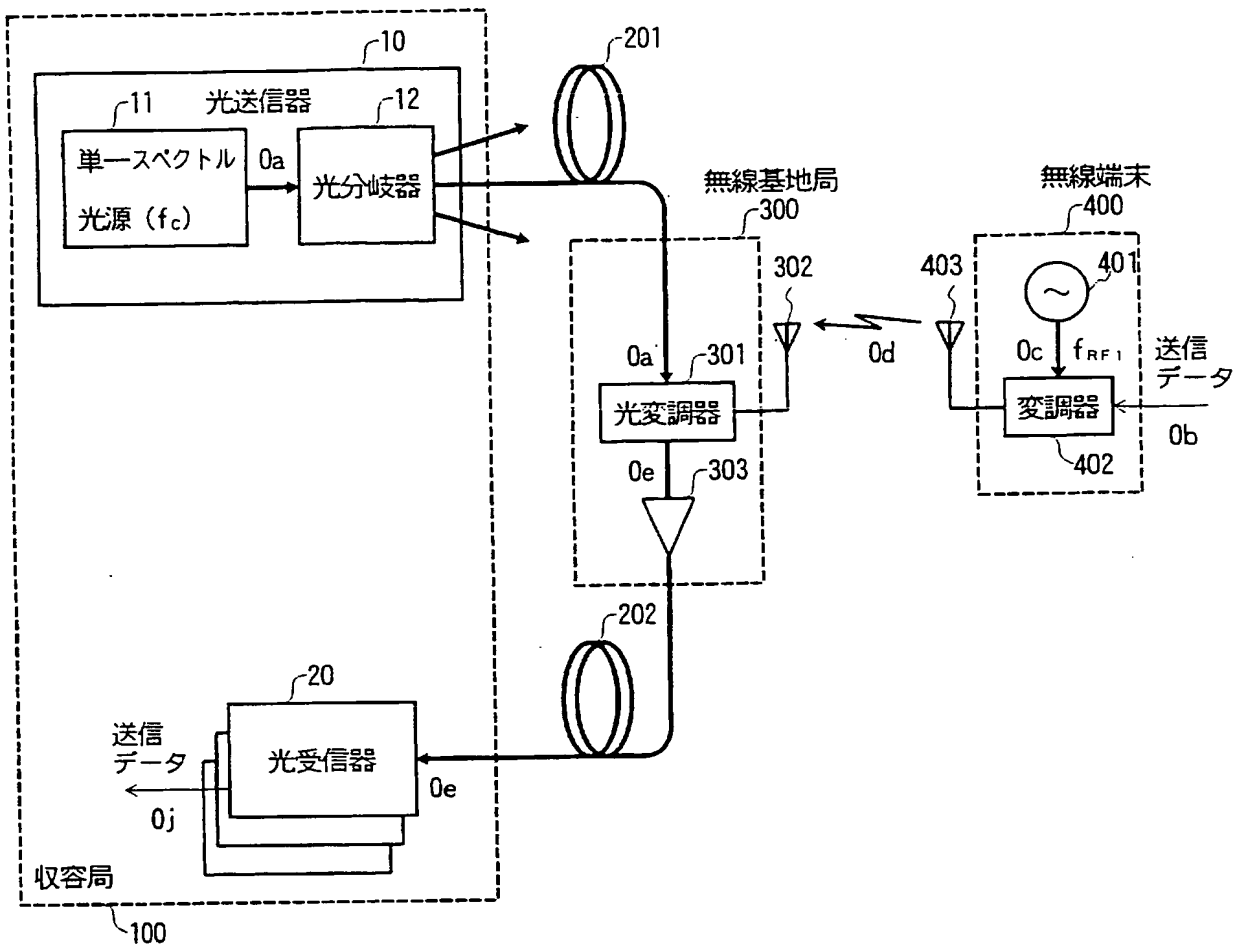
[図25]



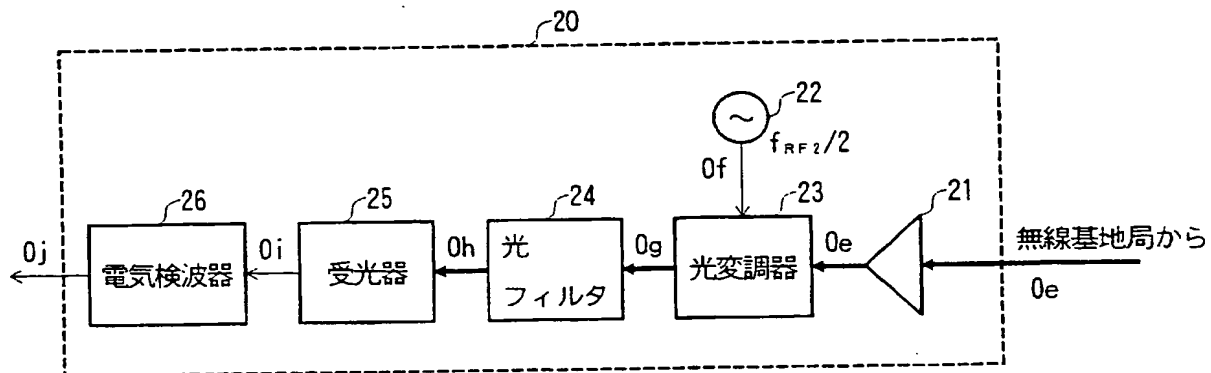
[図26]



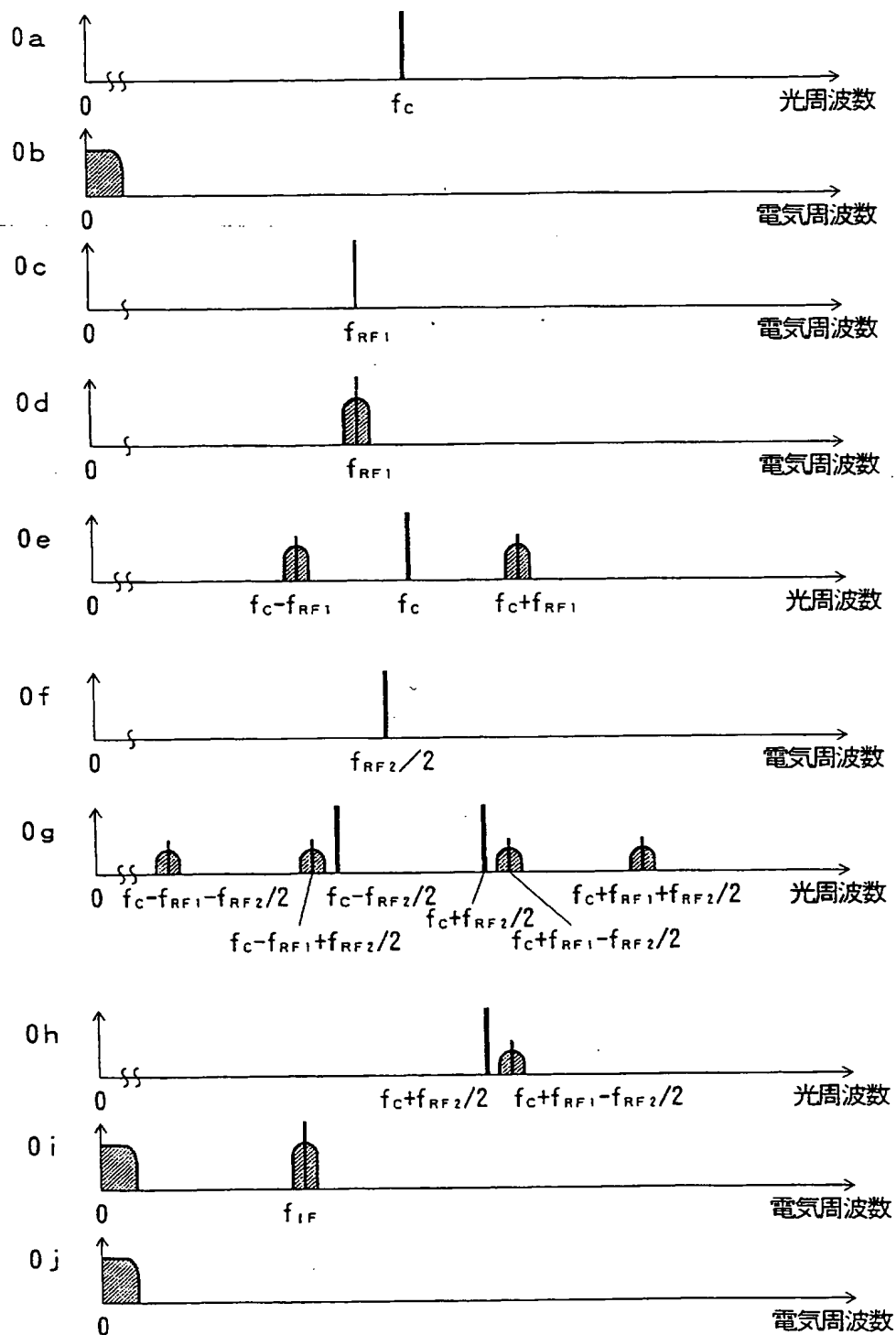
[図27]



[図28]



[図29]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/011594

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/04, 10/06, 10/142, 10/152

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Explore, JOIS(JICST FILE)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-177534 (Lucent Technologies Inc.), 02 July, 1999 (02.07.99), Par. Nos. [0027] to [0039]; Fig. 2B & EP 000910187 A2 & US 006118565 A1 & AU 000741871 B	1-19
Y	TANIGUCHI et al., "Hikari/Denki 2-dan Heterodyne Hoshiki ni yoru Hikari-Fiber Musen Access System no Kento", 2002 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Electronics Society Taikai Koen Ronbunshu 1, C-14-15, 20 August, 2002 (20.08.02), page 296	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

- A- document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- E- earlier application or patent but published on or after the international filing date
- L- document which may throw doubts on priority claims) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- O- document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- P- document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- T- later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- X- document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- Y- document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- &- document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
13 September, 2005 (13.09.05)

Date of mailing of the international search report  
27 September, 2005 (27.09.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/011594

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TANIGUCHI et al., "Hikari/Denki 2-dan Heterodyne ROF System ni okeru SBS Yokusei Koka no Aru Hikari PSK Hencho Hoshiki no Kento", 2003 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu, Electronics 1, C-14-4, 03 March, 2003 (03.03.03), page 335	1-19
Y	JP 2000-278217 A (Hitachi Cable, Ltd.), 06 October, 2000 (06.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-19
P,X	TANIGUCHI et al., "60 GHz Uplink System ni okeru Loopback-gata Hikari-Heterodyne Kenpa Hoshiki", 2005 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu, Electronics 1, C-14-9, 07 March, 2005 (07.03.05), page 354	1-19

BEST AVAILABLE COPY

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/04, 10/06, 10/142, 10/152

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

IEEE Explore  
JOIS (JICST ファイル)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-177534 (ルセント テクノロジーズ インコーポレイテッド) 1999. 07. 02, [0027] ～[0039]段落及び図 2B 等参照 & EP000910187 A2 & US006118565 A1 & AU000741871 B	1-19
Y	谷口 他, 光/電気 2 段ヘテロダイン方式による光ファイバ無線アクセスシステムの検討, 2002 年電子情報通信学会エレクトロニクスサイエティ大会講演論文集 1, C-14-15, 2002. 08. 20, 第 296 頁	1-19

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 09. 2005

国際調査報告の発送日

27. 9. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

前田 典之

5 J

9073

電話番号 03-3581-1101 内線 3536

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	谷口 他, 光/電気 2 段ヘテロダイン ROF システムにおける SBS 抑制効果のある光 PSK 変調方式の検討, 2003 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス 1, C-14-4, 2003.03.03, 第 335 頁	1-19
Y	JP 2000-278217 A(日立電線株式会社) 2000.10.06, 全文全図 (ファミリーなし)	1-19
PX	谷口 他, 60GHz アップリンクシステムにおけるループバック型光ヘテロダイン検波方式, 2005 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス 1, C-14-9, 2005.03.07, 第 354 頁	1-19